

І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич,
О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

ПІДРУЧНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ
галузей знань «Автоматизація та приладобудування»,
«Електроніка та телекомунікації»

Кривий Ріг
2019

Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 366 с.

У підручнику розглянуто нижній рівень ієрархічної структури управління технологічними процесами, яку складають технологічні операції, функціонування яких базується на отриманні даних від джерел інформації, що описує стан її виходів і окремих пристроїв, яка передається у вигляді електричних, пневматичних, гідравлічних і інших сигналів. Це рівень вимірювальних приладів і виконавчих механізмів. Основною метою створення даного підручника є вивчення теоретичних основ технічних засобів автоматизації, різних аспектів використання технічних засобів автоматизації в промисловості.

Вивчення технічних засобів автоматизації, зокрема, виконавчих механізмів і регулюючих органів, що застосовується для функціонування АСУ ТС, є однією з основ в процесі підготовки фахівців спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, практична діяльність яких орієнтована на обслуговування, автоматизацію та створення комп'ютерно-інтегрованих технологій та промислової автоматики.

Підручник призначено для підготовки фахівців з галузей знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та телекомунікації». Може бути корисний аспірантам та фахівцям в промисловості, робота яких пов'язана з розробкою та організацією виробництва галузі радіоелектронного приладобудування.

*Рекомендовано Вченою радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 6 від 26 квітня 2019 року).*

Рецензенти:

Замірець М.В., доктор технічних наук, професор, Генеральний директор Державного підприємства Харківський Науково-дослідний технологічний інституту приладобудування, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

Токарєв В.В., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки

Фролов В.В., доктор технічних наук, професор, професор кафедри теоретичної та прикладної інформатики, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

ISBN 978-617-5182-04-4

ББК 32.96

© І.Ш. Невлюдов
А.О. Андрусевич
О.І. Филипенко
Н.П. Демська
С.П. Новоселов
2019

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
1. УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ....	12
Контрольні питання.....	20
2. МЕТОДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ І СТРУКТУРА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	21
2.1. Класифікація виробів ДСП.....	30
Контрольні питання.....	33
3. ВИРОБИ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДСП. ПЕРВИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ.....	34
3.1. Терміни та визначення.....	35
3.2. Класифікація датчиків.....	40
Контрольні питання.....	51
4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ.....	52
4.1. Характеристики датчиків (статична, динамічна, частотна).....	58
4.1.1. Статична характеристика датчика.....	58
4.1.2. Динамічна характеристика датчика.....	61
4.1.3. Частотні характеристики.....	64
4.2. Похибки вимірювання.....	66
4.3. Типові входні дії.....	66
Контрольні питання.....	68
5. ДАТЧИКИ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН.....	69
5.1. Датчики дискретних механотронних модулів руху.....	72
5.2. Датчики кінцевих і проміжних положень переміщення об'єкта.....	73
5.3. Індуктивні датчики положення.....	74
5.4. Ємнісні датчики.....	78
5.5. Оптичні датчики.....	82
5.5.1. Тип Т – бар'єрний (рознесена оптика).....	83
5.5.2. Тип R – рефлекторний (з відбиттям від світлообертача).....	84
.....	84

5.5.3. Тип D – дифузійні (з відбиттям від об'єкта).....	84
5.6. Уристрій і принцип дії індуктивних і ємнісних датчиків наближення.....	84
5.7. ДКП на основі елементів прямого електричного контакту.....	88
5.8. Герметизовані контакти (геркони).....	89
5.9. Датчики Холла.....	91
5.9.1. Лінійні датчики Холла.....	96
5.9.2. Логічні датчики Холла.....	96
5.9.3. Лінійний датчик зворотного зв'язку по положенню...	98
5.10. Потенціометричні датчики переміщень.....	102
Контрольні питання	110
6. ГІРОСКОПІЧНИЙ ДАТЧИК.....	111
6.1. Гіроскоп з вібруючим кільцем.....	116
6.2. Одновісний МЕМС-датчик кутової швидкості (гіроскоп) з вібруючим кремнієвим кільцем.....	121
6.3. Кремнієвий кільцевий МЕМС-сенсор.....	123
6.4. Принцип дії системи гіроскопа.....	126
6.5. Оптиволоконний гіроскоп.....	130
Контрольні питання	132
7. АКСЕЛЕРОМЕТР.....	133
Контрольні питання	142
8. ДАТЧИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	143
Контрольні питання	148
9. ДАТЧИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РТС.....	149
9.1. Системи штучного дотику.....	155
9.2. Радіолокаційні системи.....	162
9.3. Звукові датчики.....	163
9.4. Візуальні системи.....	164
9.5. Системи технічного зору.....	166
Контрольні питання	172
10. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ В СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	173
Контрольні питання	188
11. ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ.....	189

11.1. Виконавчі механізми та регулювальні органи.....	191
Контрольні питання	204
12. ПІДСИЛЮВАЧІ.....	205
Контрольні питання	212
13. РЕЛЕЙНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ.....	213
13.1. Ієрархія електромагнітних реле по потужності контактів.....	218
13.2. Конструкція і принцип роботи реле.....	220
13.3. Параметри реле і контактів.....	223
Контрольні питання	227
14. КОНТАКТОРИ.....	228
14.1. Класифікація електромагнітних контакторів.....	229
14.2. Конструкція електромагнітних контакторів.....	230
Контрольні питання	236
15. ЕЛЕКТРОДВИГУННІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ.....	237
15.1. Електродвигуни постійного струму.....	241
15.2. Крокові виконавчі двигуни.....	248
15.3. Виконавчі двигуни змінного струму.....	258
Контрольні питання	266
16. МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕЛЕКТРОДВИГУННИХ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ.....	267
16.1. Вибір двигуна за потужністю.....	271
Контрольні питання	277
17. ТАХОГЕНЕРАТОРИ.....	278
17.1. Тахогенератори постійного струму.....	279
17.2. Тахогенератори змінного струму.....	286
17.3. Динамічні властивості тахогенераторів.....	294
17.4. Приклади використання тахогенераторів.....	296
Контрольні питання	297
18. ОБЕРТОВІ ТРАНСФОРМАТОРИ.....	298
18.1. Робота обертового трансформатора у режимі синусно– косинусного трансформатора. Симетрування оберто-вих трансформаторів.....	302
18.2. Лінійний обертовий трансформатор.....	307

18.3. Масштабні ОТ.....	312
Контрольні питання	313
19. СЕЛЬСИНИ.....	314
19.1. Індикаторний режим роботи сельсинів.....	316
19.2. Трансформаторний режим роботи сельсинів.....	321
Контрольні питання	323
20. ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	324
20.1. Визначення електроприводу.....	324
20.2. Привод мехатронних систем.....	329
Контрольні питання	336
21. ГІБРИДНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	337
22. СЕРВОПРИВОДИ.....	340
22.1. Схема устрою сервоприводу.....	341
22.2. Характеристики сервоприводів.....	344
22.2.1. Розмір і вага.....	344
22.2.2. Крутний момент і швидкість повороту.....	344
22.3. Колекторні і безколекторні мотори.....	347
22.4. Цифровий та аналоговий сервопривод.....	348
22.4.1. Робота аналогового сервоприводу.....	349
22.4.2. Робота цифрового сервоприводу.....	350
Контрольні питання	351
23. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ.....	352
23.1. Інтелектуальні мехатронні виконавчі механізми.....	353
23.2. Приклади інтелектуальних мехатронних виконавчих механізмів.....	358
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	362

ВСТУП

До дисципліни, яка вивчається, покладені основні положення автоматика. Термін «автоматика» виник з грецького слова $\alpha\upsilon\tau\acute{o}\mu\alpha\tau\acute{o}\varsigma$ – «автоматос», що означає «саморухомиий»; першопочатково цей термін застосовувався для позначення диковин, саморухомих або самодіючих пристроїв. В наш час це поняття значно розширилося і для нього існують різні визначення. У енциклопедичному словнику слову автоматика надається нас-гупне тлумачення: «Автоматика – технічна наука, яка розробляє принципи побудови автоматичних систем та необхідних для них автоматичних засобів (елементів), методи аналізу та синтезу цих систем». Однак в існуючому лексиконі цьому слову надають більш широкий зміст. Під автоматикою розуміють зібрання великого обсягу теоретичних відомостей про автоматичні системи, їх елементи, а також всі пристрої, які працюють без участі людини, але під його безпосереднім наглядом, хоча і епізодичним [1].

Автоматика складається з двох частин: теорії автоматичного регулювання та керування та технічних засобів побудови автоматичних систем.

Теорія автоматичного регулювання та керування – це наука про принципи побудови автоматичних систем та закономірностях процесів, які протікають в них.

Основна задача цієї науки полягає в побудові за допомогою інженерних методів оптимальних або близьких до них авто-матичних систем, а також в дослідженні статички та динаміки цих систем. Сучасні методи теорії автоматичного керування доз-воляють вибрати раціональну структуру системи, визначити оптимальні значення параметрів з врахуванням регулярних та випадкових впливів, оцінити стійкість та показники якості процесів керування (точність, швидкодію, завадозахищеність та інше).

Складність та різноманіття проблем автоматизації призвели до того, що її теоретичні основи являють собою цілий

комплекс наук. Одне з головних місць в даному комплексі займає теорія автоматичного регулювання та керування. Теорії автоматичного регулювання (ТАР) та керування (ТАК) будуються на широкій основі з ряду інших дисциплін: механіки, фізики, математики, теоретичної електротехніки, електроніки, обчислювальної техніки та деяких інших, які відображають специфіку об'єктів регулювання та керування.

Якщо говорити, що автоматика звільняє людину від праці чи від необхідності міркувати, то, це вірно лише умовно. Людині все одно доводиться думати (в іншій формі), щоб створювати методи регулювання та керування, здійснювати їх на практиці, досліджувати і трактувати на широкій основі автоматизовані установки.

Зростання продуктивності праці в приладобудівній промисловості, розробка нових технологій, спрямованих на поліпшення якості і підвищення ефективності виробництва, вимагають відновлення й удосконалювання систем керування на базі новітніх засобів вимірювання і автоматизації.

Тому вивчення технічних засобів автоматизації, зокрема, виконавчих механізмів і регулюючих органів, що застосовується для функціонування АСУ ТС, є однією з основ в процесі підготовки фахівців спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, практична діяльність яких орієнтована на обслуговування, автоматизацію та створення комп'ютерно-інтегрованих технологій та промислової автоматики.

Ефективне вирішення сучасних завдань обробки даних можливе лише за умови знання сучасних технічних засобів, їх функціональних можливостей і техніко-експлуатаційних показників, вміння правильно вибирати і раціонально використовувати окремі пристрої, комплекси, їх системи і мережі.

Об'єктом розгляду даного підручника є нижній рівень ієрархічної структури управління технологічними процесами, яку складають технологічні операції, функціонування яких ба-

зується на отриманні даних від джерел інформації, що описує стан її виходів і окремих пристроїв, яка передається у вигляді електричних, пневматичних, гідравлічних та інших сигналів. Це рівень вимірювальних приладів і виконавчих механізмів.

Метою створення даного підручника є вивчення теоретичних основ технічних засобів автоматизації, різних аспектів використання технічних засобів автоматизації в промисловості

Зміст матеріалу підручника відповідає робочій програмі дисципліни та освітньо-професійній програмі підготовки бакалаврів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕП	– автоматизований електропривод;
АСУ	– автоматизовані системи управління;
АСУТП	– автоматизовані системи управління технологічними процесами;
АФХ	– амплітудно-фазова характеристика;
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач;
АЧХ	– амплітудно-частотна характеристика;
ВМ	– виконавчий механізм;
ВП	– виконавчий пристрій;
ВП	– вимірювальний перетворювач;
ДЗЗ	– датчиків зворотного зв'язку;
ДКП	– датчики кінцевих і проміжних положень;
ДСП	– державна система промислових приладів і засобів автоматизації;
ДСТУ	– державний стандарт України;
ЕВМ	– електричні виконавчі механізми;
ЕМС	– електронно-механічна система;
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина;
ЕРС	– електрорушійна сила;
ЗП	– захватний пристрій;
ІД	– інтелектуальні датчики;
ІС	– інформаційні системи;
КД	– крокові двигуни;
ККД	– коефіцієнт корисної дії;
КП	– керуючі пристрої;
МГКТ	– мікрогіроскоп коливального типу;
МЕМС	– мікроелектромеханічні системи;
ОЗ	– обмотка збудження;
ОП	– оперативний персонал;
ОР	– об'єкт роботизації;
ОУ	– об'єкт управління;
ПВЧ	– підсилювачі високої частоти;

ПЗЗ	– прилади із зарядним зв'язком;
ПЗЗ	– пристрій зворотного зв'язку;
ПМВ	– перетворювач механічних величин;
ПНЧ	– підсилювачі низької частоти;
ППС	– пристрій порівняння сигналів;
РВМ	– релейні виконавчі механізми;
РО	– регулювальний орган;
РТС	– робототехнічні системи;
САК	– систем автоматичного керування;
САР	– системи автоматичного регулювання;
СПУПР	– системи програмного управління промислового робота;
СТЗ	– системи технічного зору;
СУ	– системи управління;
ТГ	– тахогенератори;
ТЗ	– технічні засоби;
ТЗА	– технічні засоби автоматизації;
ТМ	– технологічна машина;
ТС	– технологічні системи;
УЗ	– ультразвук;
ФВ	– фізична величина;
ФП	– функціональний перетворювач;
ФЧХ	– фазово-частотна характеристика;
ЦАП	– цифро-аналоговий перетворювач.

1. УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Будь-яка система по-своєму складна. Це означає, що сукупність інформації, яка характеризує систему, і сукупність зв'язків між її елементами неможливо сприйняти в цілому та повністю. Цим система відрізняється від будь-якої задачі. Тому, згідно з методом декомпозиції, для оперативного впровадження інформаційної системи необхідно забезпечити оптимальну її структурованість.

Оптимально структурована система є багаторівневою, багатоцільовою організованою сукупністю елементів (модулів) і задовольняє такі вимоги:

- кожен рівень ієрархії має повністю проглядатися і бути зрозумілим без детального знання нижчих рівнів;

- зв'язки між елементами на одному рівні ієрархії мають бути мінімальними;

- не повинно бути зв'язків між елементами через один рівень ієрархії;

- елемент вищого рівня має викликати елемент наступного рівня і, передаючи йому необхідну вхідну інформацію, має утворювати з ним єдине ціле;

- елемент вищого рівня має викликати елемент наступного рівня і, передаючи йому необхідну вхідну інформацію, має утворювати з ним єдине ціле;

- елемент наступного рівня після закінчення своєї роботи повертає управління елементу, що його викликав, передаючи йому результати своєї роботи.

Жорсткими є обмеження щодо структури системи, оскільки неможливо розробити таку ідеальну систему, щоб потім не вносити в неї зміни. До того ж при експлуатації інформаційної системи основним режимом її роботи є режим саме внесення змін.

Внесення змін у добре структуровану систему стосується не багатьох елементів, які добре локалізуються. В іншому випад-

ку внесення навіть дрібних змін призводить до перепроектування, перепрограмування великих частин системи.

Функціональну декомпозицію інформаційної системи доцільно здійснювати за об'єктивним принципом на основі такої схеми: виробниче об'єднання – промислове підприємство – виробництво – цех – технологічний процес (дільниця) – робоче місце (вертикальна декомпозиція) з виділенням функцій управління для кожного об'єкта за схемою планування: облік – контроль – аналіз – регулювання (горизонтальна декомпозиція).

Таким чином, ієрархічність являється необхідною якістю складних сучасних ТС, що задовольняють переліченим вище критеріям.

Узагальнена ієрархічна структура технологічної системи (ТС) підприємства представлена таким чином (рис. 1.1).



Рис. 1.1 – Загальна ієрархічна структура сучасного підприємства

Нижній рівень цієї схеми складають вимірювальні прилади і виконавчі механізми. Прилади можуть бути

аналоговими або цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють виміряну величину у формі певного значення напруги або сили струму. Цифрові прилади мають вбудовані логічні схеми, вони представляють виміряну величину у вигляді сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеному для цих пристроїв. Для обміну інформацією з приладами першого виду необхідно використовувати аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі. З приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо по мережі передачі даних [2].

Другу ступінь ієрархічної структури підприємства утворюють типові технологічні процеси, операції і стадії яких є елементами даної підсистеми. *Це контролерний рівень.* Контролери виконують функції автоматичного керування технологічним процесом. Метою управління є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів, за певними алгоритмами [2].

Програматори/конфігуратори в основному оперують конфігураційними (параметричними) даними. Винятком є режим відладки, коли наладчику необхідно спостерігати та змінювати дані процесу. Слід зазначити, що параметричні дані на засоби вводу/виводу, як правило, поступають не безпосередньо з конфігураторів, а через ведучий вузол мережі — контролер.

Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані для контролю її стану і управління ним з автоматизованих робочих місць операторів; для архівування історії зміни технологічних параметрів; для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу.

Третю ступінь складає сукупність типових основних і допоміжних технологічних процесів і апаратів, що управляються АСУТП. Сюди відносяться неоднорідні за характером протікання технологічні процеси.

Рівень виробничої ділянки (цеху). Його функції:

- збір інформації, що поступає з нижнього рівня, її обробка і зберігання;
- вироблення керуючих сигналів на основі аналізу інформації;
- передача інформації про виробничу ділянку на вищий рівень;
- обчислення невимірюваних параметрів, зокрема, показників якості продуктів, техніко-економічних показників;
- зведення матеріальних балансів;
- архівування інформації;
- генерація звітів;
- діагностика і захист від збоїв в елементах підсистем нижнього рівня;
- визначення налаштувань керуючих пристроїв (КП) і уставок локальних регуляторів підсистем I рівня;
- зміна структури локальних підсистем (переконфігурація, включення/виключення, перехід в ручне управління і т.д.).

На даному рівні проводиться оптимізація технологічних процесів за технологічними показниками.

Четверта, вища ступінь ієрархічної структури підприємства – це технологічні системи сукупності цехів, системи оперативного управління, системи організації виробництва, реалізації готової продукції і т.д. Задачу управління цим ступенем вирішує автоматизована система управління підприємством [2].

Управління (керування) це цілеспрямована сукупність дій, які змушують об'єкт управління виконувати певний алгоритм функціонування з бажаним результатом. Лексикою української мови розмежування термінів «управління» та «керування» чітко не визначено [3], однак зазвичай термін «управління» зас-тосовують для позначення функцій управління вищого рівня, які містять операції «командного» (координаційного) управління складними технічними (технологічними) об'єктами, а термін «керування» використовують стосовно до безпосереднього управління

функціонуванням єдиного об'єкту (процесу) для виконання завдань, що надходять від системи управління (СУ) вищого рівня ієрархії.

Система управління (керування) це сукупність функціонально пов'язаних підсистем і пристроїв, що забезпечують виконання об'єктом управління (керування) певного (наприклад, технологічного) завдання. Якщо управління (керування) здійснюється без участі людини, то СУ (СК) називається автоматичною (САУ, САК). Прикладами автоматичних систем можуть бути САК робочим органом технологічної машини та САК електроприводом, якщо не приймати до уваги операції вмикання/вимикання, налагодження та ін., що виконуються людиною (групою людей). Якщо окремі операції управління здійснює людина, то такі СУ (СК) називаються автоматизованими. До числа останніх можуть належати **автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП)**, СУ технологічного агрегату, СУ технологічною машиною. Приймаючи до уваги співвідношення функцій «управління» та «керування», можна вважати, що системи керування (СК, САК) є частковим випадком систем управління (СУ, САУ). Що стосується технічних і технологічних об'єктів, то їх називають автоматизованими, якщо вони оснащені автоматичними або автоматизованими системами управління (керування).

Узагальнену структурну схему СУ (СК) подано на рис. 1.2.

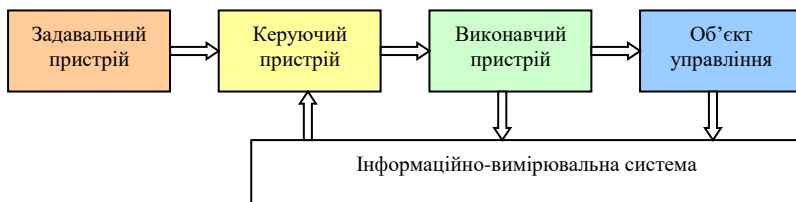


Рис. 1.2 – Узагальнена структурна схема системи управління

Риси, характерні для більшості автоматичних систем. Ці загальні риси можна проілюструвати за допомогою функціо-

нальної схеми. У структурі типової автоматичної системи можна відзначити (рис. 1.2):

- **об'єкт управління:** безпосередньо машина або процес, управління яким і є метою автоматизації;

- **керуючий пристрій (регулятор):** технічний засіб (найчастіше мікропроцесорний пристрій), який впливає на об'єкт управління відповідно до закладеного закону управління;

- **виконавчий орган:** проміжна ланка між керуючим пристроєм і об'єктом управління (призначений для виконання команд керуючого пристрою);

- **здатчик:** маніпулятор (клавіатура, джойстик і т.п.) за допомогою якого оператор має можливість задати керуючому пристрою потрібні значення керованої величини;

- **датчик:** пристрій, що вимірює реальне значення керованої величини і подає їх у вигляді сигналів, придатних для по-дальшої обробки і передачі в керуючий пристрій.

На рис. 1.3 [4] показані два варіанти систем автоматичного управління:

а) розімкнена (без зворотного зв'язку), нездатна реагувати на зміни діючого значення керованої величини;

б) замкнута (зі зворотним зв'язком), в якій є можливість порівнювати бажане і дійсне значення керованої величини, і коректувати поведінку системи.

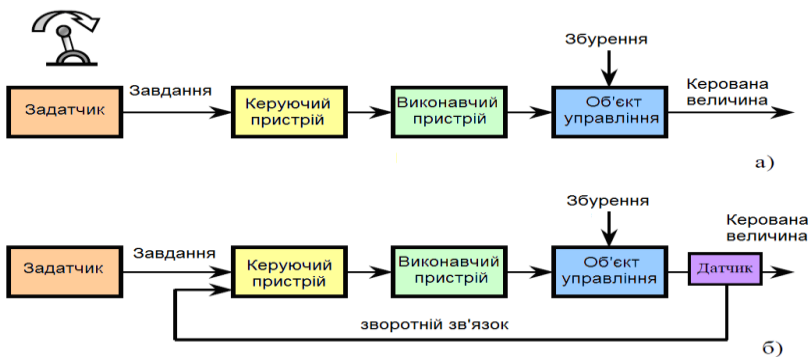


Рис. 1.3 – Функціональні схеми автоматичних систем

a – розімкнена система; б – замкнута система

Задачею управління технічним (технологічним) об'єктом часто є забезпечення постійності деякої фізичної змінної (швидкості руху робочого органу технологічної машини (ТМ), тиску, температури та ін.), або її змінення в часі за певним законом. Такий окремих вид управління (керування) називається регулюванням. Узагальнена структура системи автоматичного регулювання (САР) відрізняється від загальної структури СУ відсутністю задавального пристрою. Керуючий пристрій САР містить регулятори однієї або декількох фізичних перемінних. Невід'ємною ознакою САР є наявність зворотних зв'язків з однієї чи декількох регульованих фізичних перемінних (перемінних стану об'єкта управління), причому обов'язково – з головної регульованої перемінної у зовнішньому контурі регулювання. Формування управляючої дії є функцією деякого задавального пристрою, тому очевидно, що САР є структурною складовою системи управління (керування) об'єктом, перемінні стану якого підлягають регулюванню. Якщо кількість регульованих перемінних дорівнює двом і більше, то САР (будь-яка СУ) носить назву багатомірної, а в протилежному випадку одномірної системи.

В літературних джерелах, де розглядаються системи управління технічними об'єктами, іноді застосовується термін «система управління об'єкта». Цим терміном характеризується сукупність управляючого пристрою та інформаційно-вимірювальної підсистеми, а також виконавчого пристрою, тобто тих складових СУ, що пов'язані між собою інформаційними зв'язками. Зокрема, така термінологія застосовується в теорії електропривода для зазначення належності інформаційно пов'язаних підсистем (пристроїв) технічному об'єкту – автоматизованому електроприводу (АЕП).

Для систем управління і, зокрема, САР застосовується така класифікація.

Автоматичні системи стабілізації, що забезпечують підтримання регульованої фізичної величини на заданому рівні з

потрібною точністю. До таких систем відносяться, наприклад, система регулювання температури в нагрівальній пічі, система регулювання швидкості двигуна та багато інших. Системи стабілізації поділяються на статичні та астатичні. Статичними системами називаються такі, в яких регульована величина в усталених режимах змінюється при зміненнях збурюючої дії. Астатичні системи забезпечують підтримку регульованої перемінної в усталеному режимі на незмінному рівні при зміненнях збурюючої дії. Інакше кажучи, астатичні САР забезпечують регулювання перемінних в усталеному режимі без похибки, тобто суворо на заданому рівні, а статичні САР з деякою похибкою, викликану збурюючою дією.

Наступні системи, що здійснюють відпрацювання завдання регульованої величини в часі за законом, якій заздалегідь невідомий. Прикладами такої системи можуть служити система наведення артилерійської гармати на ціль, що рухається, система навігації радіоантени, що забезпечує зв'язок з космічним об'єктом, та багато інших.

Системи програмного управління (керування), що здійснюють змінення регульованих величин в часі за законами, які заздалегідь запрограмовані (за визначеними програмами). До таких систем відносяться, зокрема, системи числового програмного керування верстатами.

Адаптивні системи, що здійснюють оптимальне, за заданим показником якості, управління поточним станом об'єкта при зміненнях умов його роботи. До класу адаптивних відносяться системи, що самонастроюються, самоорганізуються, самонавчаються.

Стосовно використання термінів «управління» та «керування» слід зауважити, що підставою для присвоєння системам АСУТП, СУТА, СУТМ саме таких назв (система управління) є виконання функцій організаційних систем (координації роботи підпорядкованих об'єктів), а назву «система керування» ми використовуємо для систем ЕМСК, ЕМСАК,

СКРО, що здійснюють функції управління локальними об'єктами.

Найбільш складною, за структурно-функціональною організацією, підсистемою ЕМСК є електропривод робочого органу (можливо, декількох) технологічної машини.

Контрольні питання:

1. Що прийнято називати системою управління?
2. Що таке процес управління?
3. Опишіть структуру системи управління.
4. Що таке об'єкт управління?
5. Що таке адаптивні системи?
6. Які системи називають наступними?
7. Відмінність структури САР від загальної структури СУ?
8. Для чого використовують автоматичні системи стабілізації?
9. Яку СУ (САР) називають багатомірною, а яку одномірною?

2. МЕТОДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ І СТРУКТУРА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Використовуючи поняття «управління», можна дати наступне визначення автоматизації виробництва та автоматизованих систем управління.

Автоматизація виробництва – це така його організація, при якій функції управління частково або повністю виконують технічні засоби.

Сучасне виробництво (підприємство) являє собою технологічну систему, що складається із взаємопов'язаних по горизонталі і вертикалі підсистем. Основу діяльності кожної складної ТС, у нашому випадку підприємства, становлять виробничі процеси, які виконуються у відповідних підрозділах. ТС виробничого підрозділу складається із сукупності типових основних і допоміжних технологічних процесів і апаратів, що управляються автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУ ТП). До складу АСУ ТП належать системи, які призначені для управління безперервним виробництвом, автоматизованими потоковими лініями, комплексними лініями агрегатів і верстатів, верстатами з числовим програмним управлінням.

За своїм змістом всяке **управління** – це процес, який передбачає отримання необхідної інформації про систему і оточуюче її середовище (інформація стану), вироблення рішення (переробка та перетворення інформації стану), постановку завдань системі (передача командної інформації) і контроль виконання.

Управління в ТС може здійснюватися безпосередньо людиною (виконавцем) або людиною з використанням технічних засобів, або тільки технічними засобами, що працюють за прог-рамою. Основним завданням цих засобів є збирання, зберігання, попередня обробка, передача і відображення технологічної інформації (даних процесу) для

забезпечення ефективної взаємодії системи управління і оператора [2].

Автоматизовані системи управління (АСУ) позбавляють людину необхідності безпосереднього керування великою кількістю робочих машин та технологічних агрегатів, зводячи функцію людини - оператора до формування завдання (рецепту) на виробництво, контролю за ходом технологічного процесу та втручання (за потребою) на деяких його стадіях. Наступний якісно-новий рівень розвитку виробництва пов'язаний з впровадженням повністю автоматичних технологічних ліній та в цілому виробництв, в яких учать людини не є потрібною.

Відповідно до державного стандарту України (ДСТУ) **АСУ ТП** – це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір інформації з первинних (ПП) або передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів і її первинну обробку (фільтрування сигналів, лінеаризація характеристик ПП і ПрП, «офізичення» сигналів, тобто перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях виміру) для розрахунку, видачі та реалізації керуючих впливів на об'єкт керування відповідно до прийнятих критеріїв керування. АСУ ТП здійснює реалізацію впливів на об'єкт керування в темпі з технологічним процесом, тобто в реальному часі, при цьому забезпечує керування об'єктом в цілому, а її технічні засоби беруть участь у виробленні рішень з керування [5].

Системи автоматичного управління є складними системами не тільки з погляду апаратного складу, їхнього конструктивного виконання, наявності великої кількості параметрів, але й обсягу інформації. Це обумовлено тим, що навіть в одному ланцюзі управління сигнал може багаторазово перетворюватися з однієї форми в іншу. Для перетворення сигналів, а також для необхідної зміни їхніх величин і забезпечення заданих якостей САУ вико-ристовуються *погоджуючі* елементи і пристрої. Ці елементи можуть входити в найрізноманітніші ланки ланцюга управління. При розгляді основних принципів роботи системи автоматичного управління

погоджуючі елементи можна не враховувати, маючи на увазі їхню обов'язкову наявність у складі основних частин системи управління [6].

Якість функціонування систем автоматизації в значною мірою залежить від використаної в ній технічного забезпечення [7].

Технічне забезпечення – це комплекс технічних засобів, що застосовується для функціонування АСУ ТС, який повинен будуватися в основному на базі серійно випускаємих технічних засобів, по можливості взаємозамінних і однотипних.

У комплекс технічних засобів АСУ ТС входять, як правило, стандартні мікро – та міні ЕОМ, зовнішні пристрої пам'яті, пристрої міжмашинного зв'язку, різні дисплеї, термінальні пристрої, автоматичні пристрої введення інформації, пристрої реєстрації інформації, пристрої друку і тиражування документації, різного роду датчики, виконавчі механізми та ін.

Типові засоби автоматизації можуть бути *технічними, апаратними, програмно-технічними і загальносистемними* (рис. 2.1) [8].



Рис. 2.1 – Класифікація типових засобів автоматизації

Необхідність вивчення загальних питань, що стосуються технічних засобів автоматизації (ТЗА) і державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП), диктується тим, що технічні засоби автоматизації є невід'ємною частиною ДСП. Технічні засоби автоматизації представляють собою основу при реалізації інформаційно-керуючих систем у промисловій та непромислової сферах виробництва. Принципи організації ГСП значною мірою визначають зміст етапу проектування технічного забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). У свою чергу, основу ДСП становлять проб-лемно-орієнтовані агрегатні комплекси технічних засобів.

Економіка галузі, що виробляє засоби автоматизації вимагає досить вузької спеціалізації підприємств, що випускають великі серії однотипних пристроїв. У той же час з розвитком автоматизації, з появою нових, все більш складних об'єктів управління і збільшенням обсягу функцій, що автоматизуються, зростають вимоги до функціональної різноманітності пристроїв автоматизації і до різноманітності їх технічних характеристик, і конструктивних особливостей виконання. Завдання зменшення функціонального і конструктивного різноманіття при оптимальному задоволенні запитів автоматизуються підприємств вирішується за допомогою *методів стандартизації*.

Рішенням по стандартизації завжди передують системні дослідження практики автоматизації, типізація наявних рішень і наукове обґрунтування економічно оптимальних варіантів і можливостей подальшого скорочення різноманіття застосовуваних пристроїв. Прийняті при цьому рішення після їх практичної перевірки оформляються обов'язковими до виконання державними стандартами (ДСТУ). Більш вузькі по сфері застосування рішення можуть оформлятися і у вигляді галузевих стандартів (ГСТ), а також у вигляді мають ще більш обмежену придатність стандартів підприємств (СТП).

Для вимірювання фізичних сигналів, які надходять із виходу різноманітних первинних перетворювачів, потрібна значна кількість різних контрольно-вимірювальних та регулювальних пристроїв, що ускладнює їх експлуатацію та ремонт. Для уникнення цих проблем у нашій країні розробляється Державна система приладів та засобів автоматизації (ДСП).

Побудова ДСП базується на принципах уніфікації сигналів, конструкцій, блоків та модулів; можливості побудови складних систем із простих; обмеження номенклатури технічних засобів з одночасним розширенням їх можливостей; формування гнучких перебудовуючих компонентів системи [9].

Сучасні системи автоматизації будь-яких рівнів повинні будуватися, на базі засобів автоматизації й обчислювальної техніки, що серійно випускаються. Засоби збору і нагромадження первинної інформації, для представлення її спостерігачеві, регулюючі і виконавчі пристрої використовують прилади і засоби автоматизації ДСП, як засоби централізованого збору передачі і переробки інформації варто використовувати засоби агрегатних комплексів (АК). ДСП являє собою експлуатаційно, інформаційно, енергетично, метрологічно і конструктивно організовану сукупність виробів, призначених для використання в промисловості як технічні засоби АСУ ТП, інформаційно-вимірювальних систем, а також для контролю, виміри і регулювання окремих параметрів [10].

Таким чином, **ДСП – це сукупність уніфікованих та нормалізованих рядів блоків, приладів і засобів для одержання, опрацювання та використання інформації**, які відповідають єдиним технічним і метрологічним вимогам, і мають уніфіковані параметри вхідних і вихідних сигналів, нормалізовані габарити, приєднуючі розміри, а також економічно обґрунтовану точність, надійність, довговічність та естетичність.

До складу ДСП входить кілька тисяч найменувань виробів, що дозволяють будувати ефективні АСУ установками,

агрегатами і виробництвами різної функціональної складності – від найпростіших систем автоматичного контролю і стабілізації окремих параметрів технологічного процесу до складних багаторівневих систем керування, що реалізують оптимізаційні задачі керування, непрямі виміри, багатозв'язкове регулювання, багатоступінчасті захисти і логічні операції при пуску й зупинці об'єктів.

Можливість спільного використання виробів в комплектних системах і пристроях забезпечується шляхом виконання основних вимог сумісності технічних засобів. Під *сумісністю технічних засобів* розуміється сукупність їхніх властивостей, що забезпечують можливість спільного використання цих засобів у заздалегідь передбачених сполученнях для побудови комплексних пристроїв і систем без необхідності застосування додаткових пристосувань і пристроїв. При цьому повинні забезпечуватися задані характеристики комплексних пристроїв і систем. ДСП складається з ряду відособлених і досить стійких груп виробів.

Одна з задач ДСП – розробка обмеженої номенклатури уніфікованих пристроїв, здатних максимально задовольняти вимогам побудови автоматичних систем керування і регулювання. Починаючи із середини ХХ століття, конструктивні рішення пройшли такі три етапи.

1-й етап є етапом приладових систем регулювання – вимірювальний прилад (реєструючий) і регулятор виконувалися в одному корпусі. При цьому реєструючий прилад був одним із елементів системи регулювання, що дуже негативно позначалося на її надійності.

2-й етап – апаратні системи регулювання.

Регулятор і вимірювальний прилад розділили, вторинний прилад вивели зі складу контуру регулювання.

Інформація від давача стала передаватися безпосередньо на регулятор. При цьому в регуляторі з'явився вузол, який повинен забезпечувати стикування різних типів давачів із регулятором. Таким чином, за рахунок змінності

вимірювального модуля забезпечені універсальність і підвищена надійність системи в цілому.

3-й етап – агрегатні системи.

Кожна АСР будується шляхом з'єднання в різному порядку, комбінування, підключення різних блоків і модулів, що обмінюються уніфікованими сигналами. Одним із засобів конструювання АСКТП є блочно-модульний принцип – агрегаткування.

Агрегаткування – принцип формування складу серійно виготовляємих засобів автоматизації, спрямований на максимальне задоволення запитів підприємств-споживачів при обмеженій номенклатурі серійновипускаємої продукції.

Агрегаткування базується на тому, що складні функції управління можна розкласти на найпростіші складові (так, як, наприклад, складні обчислювальні алгоритми можна представити у вигляді сукупності окремих найпростіших операторів).

Таким чином, *агрегаткування ґрунтується на розкладанні загальної задачі управління на ряд простих однотипних операцій, що повторюються в тих чи інших комбінаціях в самих різних системах управління*. При аналізі великої кількості подібних систем управління можна виділити обмежений набір найпростіших функціональних операторів, на комбінації яких будується практично будь-який варіант АСУТП. В результаті формується склад серійно виготовляємих засобів автоматизації, що включає такі конструктивно завершені і функціонально самостійні одиниці, як блоки і модулі, прилади та механізми.

Блок – конструктивний збірний пристрій, що виконує одну або кілька функціональних операцій по перетворенню інформації.

Модуль – уніфікований вузол, що виконує елементарну типову операцію в складі блоку або приладу.

Виконавчий механізм (ВМ) – пристрій для перетворення керуючої інформації в механічне переміщення з заданою потужністю, достатньою для впливу на об'єкт управління.

Відповідно до принципу агрегування системи управління створюються шляхом монтажу модулів, блоків, приладів і механізмів з подальшою комутацією каналів і ліній зв'язку між ними. У свою чергу, самі блоки і прилади створюються також шляхом монтажу та комутації різних модулів. Модулі ж зби-раються з простіших вузлів (мікромодулів, мікросхем, плат, пристроїв комутації і т.п.), що складають елементну базу технічних засобів. При цьому виготовлення блоків, приладів і модулів здійснюється повністю в заводських умовах, в той час як монтаж і комутація АСУТП повністю завершується лише на місці її експлуатації. Такий підхід до побудови блоків і приладів отримав назву **блочно-модульного принципу** виконання технічних засобів автоматизації.

Застосування блочно-модульного принципу не тільки дозволяє проводити широку спеціалізацію і кооперування підприємств в рамках галузі, що виготовляють засоби автоматизації, а й веде до підвищення ремонтпридатності і збільшення коефіцієнтів використання цих засобів в системах управління. Зазвичай підприємства, що випускають засоби автоматизації промислового призначення, спеціалізуються на виготовленні комплексів або систем блоків і приладів, функціональний склад яких орієнтований на реалізацію будь-яких великих функцій або підсистем АСУТП.

При цьому в рамках окремого комплексу всі блоки і прилади виконуються **сумісними по інтерфейсу**, тобто сумісними за параметрами і характеристикам сигналів-носіїв інформації, так само як і за конструктивними параметрами та характеристикам пристроїв комутації. Прийнято називати такі комплекси і системи засобів автоматизації **агрегатними або агрегатованими**.

Уніфікація – супутній агрегуванню метод стандартизації, який також спрямований на впорядкування і розумне скорочення складу серійно виготовляємих засобів автоматизації. Вона спрямована на обмеження різноманіття параметрів і технічних характеристик, принципів дії і схем, а також конструктивних особливостей виконання засобів автоматизації.

2.1. Класифікація виробів ДСП

Описати систему ДСП не просто. Це надто складна структура, що об'єднує цілу низку гілок системи: електричну, пневматичну, гідравлічну, комбіновану, а кожна із гілок, у свою чергу, має складну функціональну структуру. Проте найважливіше значення для розуміння всієї системи має функціональна структура. За функціональним призначенням вироби ДСП поділяються на чотири основні групи (рис. 2.2).

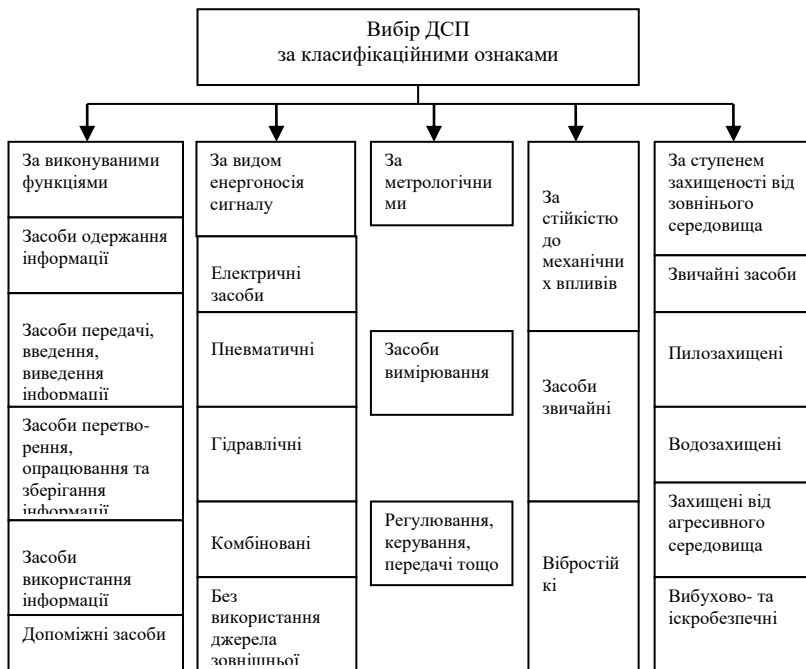


Рис. 2.2 – Класифікація виробів ДСП за ГОСТом 12997—76

До **першої групи** відносяться первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), вимірювальні прилади та вироби, які разом з нормуючими засобами, утворюють групу засобів для одержання вимірювальної інформації. Засоби цієї групи призначені для перетворення вимірюваної величини (параметра) на зручний для сприйняття, передачі й опрацювання сигнал вимірювальної інформації. За принципом дії вироби цієї групи можуть бути різними. Характерною особливістю їх є те, що вони встановлюються безпосередньо на об'єкті і взаємодіють з контрольованим середовищем.

До **другої групи** відносяться різні перетворювачі сигналів і кодів, комутатори сигналів, шифратори і дешифратори, системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації та ін.

До **третьої групи** належать технічні засоби для опрацювання та відображення вимірювальної інформації і формування управляючих дій, рішень, порад: аналізатори сигналів, логічні пристрої, операційні перетворювачі, засоби вимірювання, обчислювальні машини, запам'ятовуючі пристрої та ін. У функціо-нальному відношенні ці засоби найскладніші, оскільки вони реалізують алгоритми автоматичного керування та управління від найпростіших задач стабілізації окремих параметрів до автоматизації підприємств.

Четверту групу становлять виробни електричних пневматичних та гідравлічних виконуючих механізмів, підсилювачі потужності тощо. Виробни цієї групи взаємодіють з об'єктом через регулюючі органи.

Залежно від використовуваної зовнішньої енергії виробни ДСП класифікуються як електрична, пневматична та гідравлічна гілки і гілка без використання зовнішньої енергії.

Електрична гілка ДСП — це прилади і засоби автоматизації, у яких для живлення використовується зовнішня електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний сигнал. Електрична гілка розділяється на аналогову та дискретну гілки ДСП з відповідними стандартними уніфікованими сигналами. Найширшого використання набули електричні ЗВТ зі струмовими сигналами $0 \div 5$ мА та $4 \div 20$ мА, а за напругою $0 \div 10$ В.

Пневматична гілка ДСП - це прилади і засоби автоматизації, в яких для живлення використовується стиснуте повітря 140 кПа, а енергетичним носієм інформації є стандартний пневматичний сигнал $20 \div 100$ кПа.

Засоби пневмоавтоматики і вторинні прилади широко використовуються у хімічній, нафтопереробній, газовій, харчовій та інших галузях промисловості.

Промисловістю випускається широка номенклатура пневматичних датчиків, перетворювачів, регуляторів, приладів контролю та реєстрації, що дає змогу на їх базі розробити

системи автоматичного контролю та керування будь-якими складними технологічними процесами.

Гідравлічна гілка ДСП – це прилади і засоби автоматизації, у яких джерелом зовнішньої енергії є стиснута рідина, а носієм інформації – гідравлічні сигнали. Робоча рідина (турбінне і трансформаторне мастило та вода), що є енергоносієм, перебуває під тиском від 0,16 до 6,4 МПа. Засоби гідравлічної гілки ДСП забезпечують точні переміщення виконуючих механізмів при великих зусиллях. Ця гілка засобів менше поширена у промисловості.

Комбінована гілка ДСП – низка приладів і засобів автоматизації різних гілок ДСП, об'єднаних за допомогою перетворювачів, на базі яких розроблені системи автоматизації з урахуванням конкретних умов роботи та виробництва: висока вологість, вибухонебезпечність, пожежонебезпечність, інерційність та ін. Найчастіше використовуються пневматичні датчики з електричними приладами та ЕОМ за допомогою пневмоелектричних та електропневматичних перетворювачів.

Гілка приладів і засобів ДСП, які працюють без стороннього джерела енергії, а за рахунок енергії середовища, параметри якого вимірюються та регулюються. Наприклад, регулювання рівнями температури, тиску та ін.

Крім того, вироби ДСП класифікуються за метрологічними властивостями стійкості до механічних дій та захищеності від зовнішнього середовища.

Класифікація виробів ДСП наведена відповідно до стандартів ДСП, до складу яких входять понад 140 державних і 52 галузевих. Стандарти ґрунтуються на загальній методології і складені за принципами ієрархічної підпорядкованості стандартів нижчих рівнів вищим.

Контрольні питання:

1. У чому сутність принципу агрегування?
2. У чому полягає блочно-модульний принцип виконання технічних засобів автоматизації?

3. Приведіть склад комплексу технічних засобів автоматизованих систем управління.
4. Які засоби автоматизації відносять до програмно-технічних засобів?
5. Які засоби автоматизації відносять до загальносистемних?
6. Ознаки класифікації технічних засобів
7. Склад і призначення елементів програмно-технічного комплексу.
8. Класифікація типових засобів автоматизації
9. На які основні групи за функціональним призначенням вироби ДСП поділяються?
10. Що відноситься до першої групи виробів ДСП?
11. Що відноситься до другої групи виробів ДСП?
12. Що відноситься до третьої групи виробів ДСП?
13. Що відноситься до четвертої групи виробів ДСП?
14. Як класифікуються вироби ДСП залежно від використовуваної зовнішньої енергії?

3. ВИРОБИ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДСП. ПЕРВИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

Функціонування будь-якої АСУ ТП починається з отримання даних від джерел інформації, що описує стан її виходів і окремих пристроїв, яка передається у вигляді електричних, пнев-матичних, гідравлічних і інших сигналів. Одним із способів отримання такої інформації є вимірювання виходів керованого об'єкта – всіляких (механічних, теплових, оптичних, електромаг-нітних і т.п.) фізичних величин. У сучасних системах автоматики найбільша кількість інформації перетворюється, обробляється і передається у вигляді електричних або оптичних сигналів, тому потреба у вимірювальних приладах в умовах промисловості, що розвивається, зростає, й одночасно потрібне розширення їх можливостей та поліпшення технічних і експлуатаційних характеристик.

Пристрій, який перетворює будь-яку фізичну величину (тиск, швидкість, тепло ...) в іншу (сигнал), яку зручніше посилювати, вимірювати, передавати і обробляти називається датчиком. В основному датчик впливає на електричний ланцюг, включаючи або вимикаючи його, змінюючи електричний опір, або виробляючи електрику.

Датчик – це перетворювач вимірюваної (контрольованої) фізичної величини в величину, зручну для подальшого перетворення або вимірювання.

Датчик є обов'язковим елементом вимірювальних приладів, систем контролю і регулювання та т.п. Власне, без датчиків неможливі ні вимір, ні контроль, ні регулювання.

Для побудови датчиків використовується значна (більше 500) кількість фізичних ефектів (принципів).

Розвиток, вдосконалення датчиків в значній мірі визначається досягненнями в галузі фізики, хімії, фізичної хімії, механіки, радіотехніки та інших наук (рис. 3.1). Особливе місце

в розвитку датчиків займають досягнення і можливості сучасних технологій.

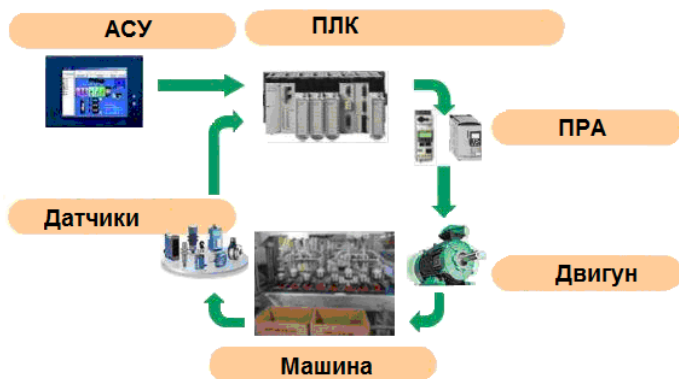


Рис. 3.1 – Місце датчика у системі автоматизації

Принципи дії датчиків можуть бути самими різноманітними в залежності від фізичної природи вимірюваної величини, її абсолютного значення, необхідної точності перетворення і т.п. Проте в переважній більшості випадків перетворення вхідних фізичних величин у відповідні вихідні сигнали пов'язано з перетворенням енергії, в тому числі перетворенням енергії одного виду в інший. Енергетичне уявлення принципу роботи вимірювальних перетворювачів, що базується на двох фундаментальних законах – закон збереження енергії і принципі оборотності, стало передумовою для створення основ загальної теорії вимірювальних перетворювачів і їх уявлення у вигляді пасивних чотириполюсників зі сторонами різної фізичної природи.

3.1. Терміни та визначення

Як завжди, починаючи вивчати будь-яке питання, слід домовитися про термінологію. Особливе значення це набуває в

області, де існують різні точки зору, застосовуються різні терміни для одного і того ж технічного пристрою, існують давні традиції і т.д.

Слід уточнити, що визначення – це лінгвістична модель реального явища або об'єкта і, як будь-яка модель, є кінцевою, спрощеною та наближеною, містить як справжню, так і умовно-дійсну і помилкову інформацію. Звідси випливає, що може існувати безліч моделей (отже, і визначень) одного і того ж явища, об'єкта. Тобто, кожне визначення – це якась грань призми, якою є досліджуване явище чи об'єкт.

У літературі досить широко використовуються терміни «вимірювальне перетворення», «вимірювальний перетворювач», «датчик», «чутливий елемент», «сенсор», «вимірювальний прилад», «засіб вимірювань», а їх визначення – найрізноманітніші. Наприклад: перетворювачами називають пристрої, які перетворюють одні фізичні величини, один вид енергії, один вид інформації в іншу фізичну величину, в інший вид енергії або в інший вид інформації.

У широкому сенсі перетворювач – це, наприклад, пристрій, що перетворює тиск в електричний сигнал (датчик тиску), напруга одного рівня в напругу іншого (трансформатор), електрична напруга в обертання валу (електродвигун), енергію в рух (літак, автомобіль) і т.д. Навіть живий організм – це теж своєрідний перетворювач.

Вимірювальне перетворення – є відображення розміру однієї фізичної величини розміром іншої фізичної величини, функціонально з нею пов'язаної [11], або перетворення вхідного вимірювального сигналу в функціонально пов'язаний з ним вихідний сигнал.

Вимірювальний перетворювач (ВП) – це засіб вимірювань, призначений для перетворення вхідного вимірювального сигналу (вимірюваної величини) у вихідний сигнал, більш зручний для подальшого перетворення, передачі, обробки або зберігання, але непридатний для безпосереднього сприйняття спостерігачем;

Вимірювальний прилад є засобом вимірювань, що виробляють вихідний сигнал у формі, що дозволяє спостерігачеві безпосередньо сприйняти значення вимірюваної фізичної величини.

Первинний вимірювальний перетворювач – це технічний пристрій, який безпосередньо взаємодіє з матеріальним об'єктом вимірювання або контролю і призначений для однозначного функціонального перетворення однієї фізичної величини – вхідний – в іншу фізичну величину – вихідну, яка є зручною для подальшого використання.

Об'єкт – це явище або частина зовнішнього або внутрішнього світу, які спостерігає або може спостерігати людина в даний момент.

Матеріальний об'єкт – це предмет матеріального дослідження, відомості про який потрібні досліднику.

Об'єкт вимірювання або контролю – це матеріальний об'єкт або процес, сукупність властивостей якого визначає зміст очікуваної інформації. Об'єкт вимірювання або контролю характеризується вимірюваними фізичними величинами або залежностями між ними.

Чутливий елемент (первинний чутливий перетворювач) – конструктивний елемент або прилад, що сприймає вимірювану фізичну величину. Чутливий елемент є первинним вимірювальним перетворювачем в вимірювальній ланцюга і здійснює перетворення вхідного сигналу (вимірюваної величини) в величину, зручну для подальшої інформаційної обробки.

У різних областях техніки чутливий елемент називають детектором, датчиком, приймачем, зондом або вимірювальною голівкою.

Детектор – чутливий елемент (датчик) для вимірювання або реєстрації випромінювання, полів або частинок.

Головним елементом вимірювального перетворювача є чутливий елемент – сенсор, який ґрунтується на деякому фізичному ефекті (принципі).

Принцип – лат. *principium* – основа, першооснова – основне вихідне положення якої-небудь теорії, вчення науки, основа пристрою або дії будь-якого приладу, механізму і т.д.

Сенсори – від лат. *sensus* – почуття, відчуття – чутливі штучні пристрої або органи живих організмів.

Датчик – це пристрій, що сприймає сигнали і зовнішні впливи і реагує на них, або сукупність вимірювальних перетворювачів, об'єднаних в один конструктивний вузол, що виноситься на об'єкт вимірювання, або чутливий елемент або конструктивно об'єднана група чутливих елементів.

Будь-який датчик є перетворювачем енергії. Незалежно від типу вимірюваної величини завжди відбувається передача енергії від досліджуваного об'єкта до датчика. Робота датчика – це особливий випадок передачі інформації, а будь-яка передача інформації пов'язана з передачею енергії.

Датчик безпосередньо приймає і передає спеціальним приладам дані про діяльність механізму, живого організму або інших явищах.

Вимірювальний перетворювач є засобом вимірювання і для нього можуть нормуватись технічні та метрологічні характеристики.

Датчиком іноді називають засіб вимірювань, що представляє собою конструктивно закінчений пристрій, що розміщується в процесі вимірювання безпосередньо в зоні досліджуваного об'єкта і виконує функцію вимірювального перетворювача.

В англійській мові слово «*sensor*» означає «сенсор», «датчик», «чутливий елемент».

Незважаючи на майже повний збіг сенсу термінів «датчик» («сенсор», «чутливий елемент») і «первинний перетворювач», між ними існують також і деякі смислові та змістовні відмінності. Датчик (сенсор, чутливий елемент) відчуває (фізичну величину), а перетворювач перетворює (в тому числі і фізичну величину).

Причому «відчувати» в даному випадку означає перетворювати фізичну величину до виду, зручного для подальшого використання або сприйняття. Зазвичай це електричний сигнал, який легко перетворити, наприклад, в показання індикатора. Однак це може бути і неелектричний сигнал, а зміна кольору (наприклад, розчину або лакмусового паперу), яке може бути пов'язане з наявністю якоїсь речовини в розчині або газі.

Поняття «перетворювати» має, як ми вже відзначали, більш широкий зміст.

Засіб вимірювань – технічний засіб, що використовується при вимірах і має нормовані метрологічні характеристики.

Вимірювальний пристрій – засіб вимірювань, в якому виконується тільки одна зі складових процедури вимірювання (вимірювальна операція).

Вимірювальне перетворення (фізичної величини) – це вимірювальна операція, при якій вхідна фізична величина перетворюється в вихідну, функціонально пов'язану з нею.

Вимірювальний перетворювач – засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і (або) зберігання, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем [11].

Первинний вимірювальний перетворювач (сенсор, датчик) – вимірювальний перетворювач, до входу якого підведена вимірювана величина, тобто перший в вимірювальному ланцюзі.

Вимірювальний прилад – засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Отже, залишаючи осторонь деякі лінгвістичні та семантичні тонкощі, а також очевидні неточності і протиріччя в наведених визначеннях, відзначимо, що аналіз цих визначень з

функціональних і системних позицій показує, що поняття сенсор, датчик, чутливий елемент, первинний вимірювальний перетворювач, детектор, приймач в цілому рівнозначні.

3.2. Класифікація датчиків

Класифікація – операція віднесення заданого об'єкта до одного з класів, всередині яких об'єкти вважаються рівнозначними. Класифікація – це також результат цієї операції. Класифікація – найпростіший вид моделювання, зокрема, найслабший вид вимірювання [11 – 12].

Класифікація – це первинна, найпростіша модель. Повнота класифікації є предметом особливої уваги при її побудові. Часто виявляється необхідним провести розмежування всередині одного класу, не відмовляючись проте від спільності в його рамках. Так з'являються підкласи, що призводить до багаторівневої, ієрархічної класифікації.

Як і в випадку лінгвістичних моделей, класифікація, як і будь-яка модель, є кінцевою, спрощеною та наближеною, містить справжню, умовно-дійсну і помилкову інформацію.

Звідси також випливає висновок, що може існувати (і існує) значна кількість класифікацій перетворювачів і датчиків за різними класифікаційними ознаками.

Завдання класифікації датчиків у першу чергу висуває вимогу встановити доцільні класифікаційні ознаки [13]. Найбільш повне уявлення про всю різноманітність датчиків можна отримати, приводячи загальну класифікацію з урахуванням багатьох класифікаційних ознак (рис. 3.2) [14].

Одна з найбільш загальних класифікацій ділить датчики в залежності від споживача інформації про них.

Для споживачів датчиків важлива інформація про датчики, призначені для вимірювання певних фізичних величин (ФВ), відомості про вихідні і вхідні параметри і сигнали,

технічні і метрологічні характеристики. Такий підхід вимагає побудови класифікаційної схеми за видами фізичної величини.

Для розробників датчиків, студентів, фахівців, які вивчають роботу датчиків, важлива інформація про фізичні принципи їх дії або, точніше, фізичні закономірності, що визначають принцип їх дії.

Класифікація датчиків



Рис. 3.2 – Види класифікації датчиків

За видами вхідних і вихідних величин вимірювальні перетворювачі (датчики) можна розділити на 4 великі класи (рис. 3.3) [15]:

- електричних величин в електричні, наприклад, безперервних у часі (аналогових) в переривчасті (дискретні, цифрові);
- неелектричних величин в неелектричні, наприклад, тиск в переміщення твердого центра мембрани;
- електричних величин в неелектричні, наприклад, струму в відхилення стрілки приладу;
- неелектричних величин в електричні. Приклади в даному випадку ми приводити не будемо, так як ці перетворювачі (датчики) є найпоширенішими, і їх буде описано далі більш детально.

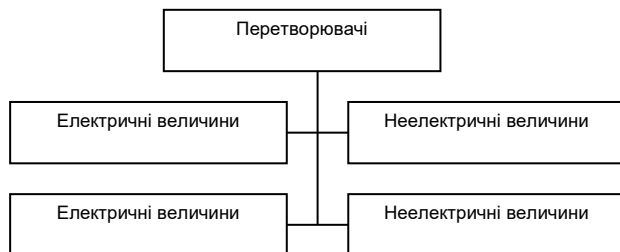


Рис. 3.3 – Класифікація перетворювачів за видом вхідних і вихідних величин

Найважливішою класифікаційною ознакою для датчиків є фізичний принцип дії – принцип перетворення фізичних величин, який ґрунтується на деякому фізико-технічному (фізичному, електрохімічному, біоелектронних, хімічному і т.д.) ефекті (явищі). Така класифікація приведена на рис. 3.4 [15].

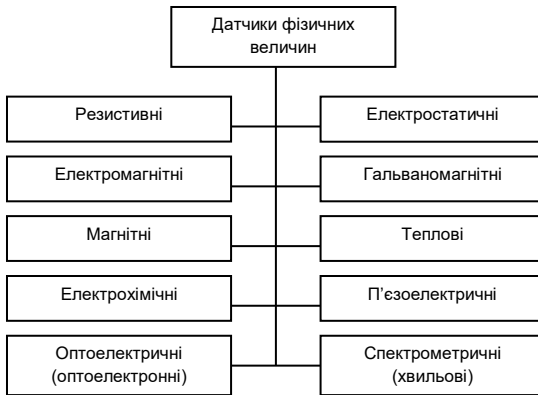


Рис. 3.4 – Класифікація датчиків за принципом дії

Крім того, можна класифікувати датчики за видом вимірюваних неелектричних величин (рис. 3.5) і електричних величин (рис. 3.6) [15].

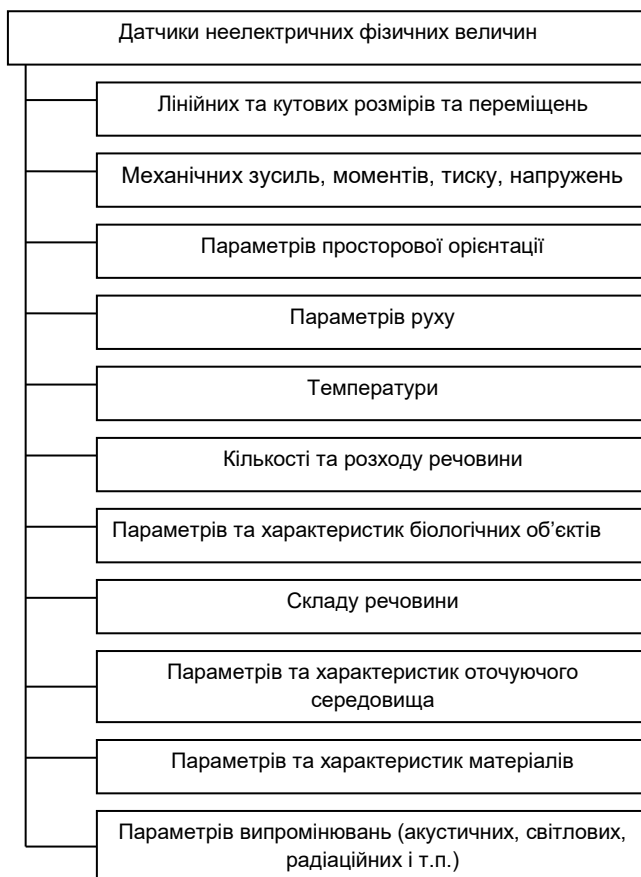


Рис. 3.5 – Класифікація датчиків за видом вимірюваних неелектричних величин

За фізичним принципом дії датчики (перетворювачі) можуть бути фізичними (електричні, магнітні, теплові, оптичні, акустичні та т.п.), хімічними і комбінованими (фізико-хімічні, електрохімічні, біоелектричні та т.п.). Принцип дії датчика визначається перш за все тим, яка закономірність використовується в ньому. Однак існують датчики, які не належать до жодного з

перерахованих класів, наприклад, механоелектричні. Ці датчики називаються комбінованими.

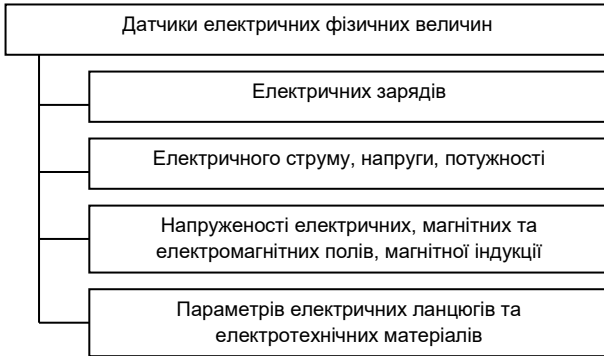


Рис. 3.6 – Класифікація датчиків за видом вимірюваних електричних величин

Електричні датчики в залежності від принципу виробленого ними перетворення діляться на два типи – модулятори і генератори (рис. 3.7).

У модуляторів (параметричних датчиків) енергія входу впливає на допоміжний електричний ланцюг, змінюючи його параметри і модулюючи значення, і характер струму або напруги від стороннього джерела енергії. Завдяки цьому одночасно посилюється сигнал, що надійшов на вхід датчика. Наявність стороннього джерела енергії є обов’язковою умовою роботи датчиків-модуляторів.

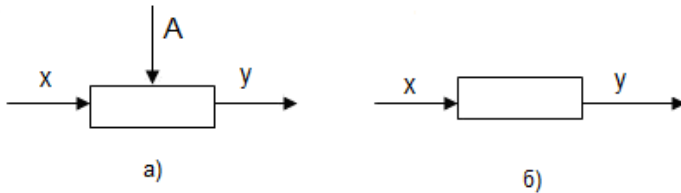


Рис. 3.7 – Функціональні блоки датчика-модулятора (а) і датчика-генератора (б)

Модуляція здійснюється за допомогою зміни одного з трьох параметрів – провідникові, індуктивності, ємності. Відповідно до цього розрізняють групи омичних, індуктивних і ємнісних датчиків.

Кожна з цих груп може ділитися на підгрупи.

Так, найбільш велика група омичних датчиків може бути розділена на підгрупи: тензорезистори, потенціометри, терморезистори, фоторезистори.

До другої підгрупи належать варіанти індуктивних датчиків, магнітоупружні і трансформаторні.

Третя підгрупа об'єднує різного типу ємнісні датчики.

Другий тип – датчики-генератори є просто перетворювачами. Вони засновані на виникненні електрорушійної сили (ЕРС) під впливом різних процесів, пов'язаних з контрольованою величиною. Виникнення такої електрорушійної сили може відбуватися, наприклад, внаслідок електромагнітної індукції, термоелектрики, п'єзоелектрики, фотоелектрики та інших явищ, що викликають поділ електричних зарядів. Відповідно до цих явищ генераторні датчики поділяються на індукційні, термoe-лектричні, п'єзоелектричні і фотоелектричні.

Можливі ще групи електротехнічних, електростатичних датчиків, датчиків Холла та інші.

За видом вихідної величини і необхідності зовнішнього джерела енергії датчики можна розділити на генераторні (активні), вихідною величиною яких є електричні величини (напруга, заряд, струм, електрорушійна сила, і параметричні (пасивні), вихідною величиною яких є опір, індуктивність, ємність, діe-лектрична або магнітна проникність і т.п.

У генераторних датчиках зовнішнє джерело енергії не потрібне. Наприклад, в п'єзоелектричному датчику під дією вимірюваного зусилля на електродах п'єзоелемента виникає електричний заряд (або електрична напруга).

У параметричних датчиках під дією вимірюваної фізичної величини змінюється будь-який з параметрів (наприклад, електричний опір в тензорезисторах). Для отримання вихідного електричного сигналу потрібно джерело енергії (струму або напруги). Таким чином, датчики можуть мати (або не мати) допо-міжне джерело енергії.

Допоміжні джерела енергії в датчику можуть бути електричними, гідравлічними, пневматичними, механічними, оптичними і т.д. Таких джерел в одному датчику може бути кілька.

За функціональним призначенням датчики (перетворювачі) можна розділити на:

- індикаторні (метрологічні характеристики не нормуються). Датчик видає інформацію про наявність чи відсутність фізичної величини;
- вимірювальні (метрологічні характеристики нормуються);
- комбіновані.

За методом перетворення фізичної величини датчики (перетворювачі) діляться на (рис. 3.8) [15]:

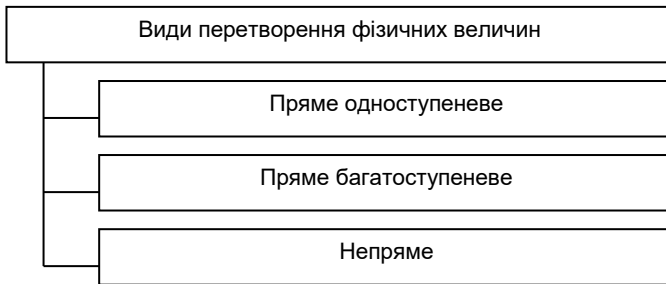


Рис. 3.8 – Класифікація видів перетворення фізичних величин

- датчики (перетворювачі) прямого одно- або багатоступеневого перетворення, в яких вимірювана фізична величина перетворюється в іншу фізичну величину – вихідний сигнал датчика;

- датчики (перетворювачі) непрямого перетворення, в яких вимірювана фізична величина перетворюється в проміжну фізичну величину, а вже потім ця величина перетворюється у вихідний сигнал датчика;

- датчики комбінованого типу.

За характером перетворення значень фізичної величини датчики ділять на дві групи:

- датчики безперервної дії;

- датчики дискретної (циклічної) дії.

За типом взаємодії з об'єктом і кількістю елементів датчики можуть бути:

- стаціонарними або рухомими;

- контактними або безконтактними;

- просторово-розподіленими (безперервними, дискретними або багатоелементними);

- зосередженими (одноелементними).

За просторовою селективністю датчики ділять на дві групи:

- датчики спрямованої дії;

- датчики ненаправленої дії.

За наявності джерела випромінювання датчики діляться на ті, в яких таке джерело є (наприклад, іонізаційний датчик газоаналізатора), і на ті, в яких джерело випромінювання немає.

Дедалі більшого поширення набувають перетворювачі з вмонтованими електронними і обчислювальними пристроями, які роблять попередню обробку вихідного сигналу датчика. Така обробка може включати коригування похибок датчика в залежності від факторів, що впливають і т.д.

У загальному випадку датчик може складатися з декількох перетворювачів (рис. 3.9) [16].

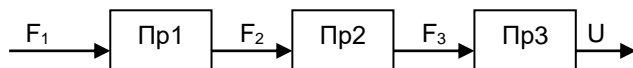


Рис. 3.9 – Функціональна схема датчика

Пр1, Пр2, Пр3 – перетворювачі; F1 – вхідна фізична величина; F2, F3 – проміжні фізичні величини; U – вихідний електричний сигнал

За видом рівняння перетворення датчики бувають з лінійною і нелінійною залежністю вихідного сигналу від вимірюваної фізичної величини.

За технологією виготовлення датчики можуть бути виготовлені з використанням об'ємного, друкованого монтажу, гібридної і напівпровідникової технології, мікро- і нанотехнологій.

За здатністю розрізняти зміну фази або полярності вхідної фізичної величини датчики ділять на фазочутливі (реверсивні) і нефазочутливі (нереверсивні), у яких вихідний сигнал не залежить від полярності вхідної величини.

За характером зміни вихідного сигналу датчики ділять на три групи:

- датчики з аналоговим вихідним сигналом, який безперервно змінюється;
- датчики з дискретним (наприклад, імпульсно змінний) вихідним сигналом.

Методи перетворення фізичних величин діляться на методи безпосереднього перетворення, диференційний, заміщення і нульовий (рис. 3.10) [16].

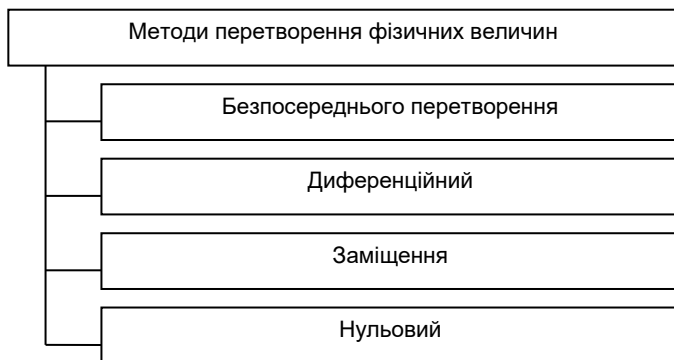


Рис. 3.10 – Методи перетворення, які використовуються в датчиках

Диференціальний метод, метод заміщення і нульовий метод відносяться до узагальненого методу порівняння.

Всі методи перетворення діляться також на методи безпосереднього перетворення і методи врівноважуючого перетворення.

Метод врівноважуючого перетворення здійснюється в умовах, коли є два ланцюги – прямого перетворення і зворотного зв'язку.

За характером виконуваних в датчиках (перетворювачах) інформаційних перетворень і способу отримання вихідних сигналів датчики можна розділити на кілька груп (рис. 3.11) [16].

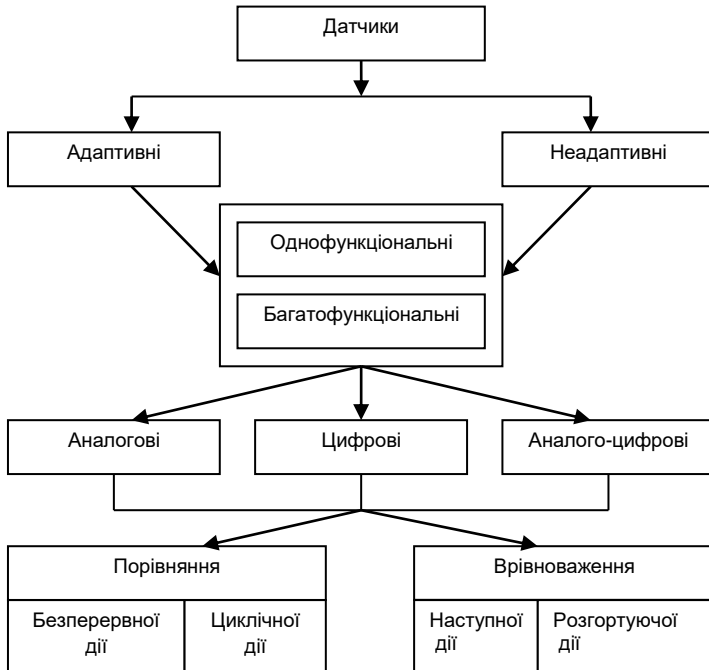


Рис. 3.11 – Класифікація датчиків за способом отримання вихідних сигналів і за характером виконуваних в них інформаційних перетворень

За характером адаптації до особливостей перетворення фізичних величин датчики діляться на адаптивні і неадаптивні, які, в свою чергу, можуть бути одно- і багатофункціональні.

За видом вихідної інформації датчики (перетворювачі) можуть бути аналоговими, дискретними (цифровими) і аналого-цифровими, при цьому в датчиках можуть здійснюватися принципи порівняння або врівноваження.

Перетворювачі, виконані з використанням принципу порівняння, можуть бути безперервної або циклічної дії.

Перетворювачі, виконані з використанням принципу врівноваження, можуть бути стежачої або розгортуючої дії.

Наведені класифікації датчиків, хоча і широко використовуються у вимірювальній техніці і автоматичному управлінні, не є абсолютно коректними і остаточно завершеними, а характеризують лише наш рівень знань в цій області.

Контрольні питання:

1. Що таке первинне перетворення?
2. Наведіть функціональну схему датчика.
3. Які три класи датчиків розрізняють?
4. Дайте визначення терміну «датчик».
5. Чи існують смислові та змістовні відмінності термінів «датчик», «сенсор», «чутливий елемент» і «первинний перетворювач»?
6. Від чого залежить принцип дії датчика?
7. Приведіть визначення та призначення вимірювального приладу?
8. Дайте визначення терміну «об'єкт вимірювання».
9. Що таке вимірювальне перетворення фізичної величини?
10. На яких двох фундаментальних законах фізики базується робота вимірювальних перетворювачів?
11. Опишіть види класифікацій датчиків.

12. Дайте класифікацію перетворювачів за видом вхідних і вихідних величин.
13. Дайте класифікацію датчиків за принципом дії.
14. Дайте класифікацію датчиків за видом вимірюваних неелектричних величин.
15. Дайте класифікацію датчиків за видом вимірюваних електричних величин.
16. Дайте класифікацію видів перетворення фізичних величин.
17. Приведіть методи перетворення, які використовуються в датчиках.
18. Наведіть класифікацію датчиків за способом отримання вихідних сигналів і за характером виконуваних в них інформаційних перетворень.
19. На які класи можна поділити датчики за видами вхідних і вихідних величин?

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ

При розробці АСУ датчики складають окремі ланки системи. Виходячи з видів інформації, що підлягає введенню в АСУ, визначаються конкретні вимоги, що пред'являються до датчиків при їх виборі та установці їх на технологічному обладнанні.

Датчики є найважливішим вузлом систем автоматички, тому їх неточність впливає на роботу системи в цілому. У реальних умовах датчики знаходяться в місцях з більш небезпечним зовнішнім середовищем, ніж інші вузли систем автоматички і практично їх неможливо захистити від впливу високих температур, вібрації, екстремальних моментів і сил, а також інших факторів. На роботу датчиків також можуть впливати всілякі сигнали випадкового характеру, в тому числі вимірювальні шуми.

При виборі датчиків технологічних параметрів та інших засобів виділення інформації слід враховувати ряд факторів метрологічного і режимного характеру, найбільш суттєві з яких наступні: допустима для АСУ похибка, визначений клас точності датчика; інерційність датчика, яка характеризується його постійною часу; межі виміру з гарантованою точністю; вплив на нормальну роботу датчика фізичних параметрів контрольованого і навколишнього середовища: температури, щільності, вологості та ін.

Перетворення сигналів в датчиках відбувається в два етапи:

- перетворення виду сигналу, наприклад, механічний в електричний;
- додання перетвореному сигналу стандартного виду, прийнятного для систем автоматички – нормування (рис. 4.1).

Первинний перетворювач в датчику є чутливим елементом до вимірюваної фізичної величини і перетворює її в електричну, яка вимірюється за допомогою стандартних схем.

Вторинне перетворення здійснюється: підсилювачами, аналого–цифровими перетворювачами (АЦП), цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП), імпульсними і кодовими перетворювачами і т.п.

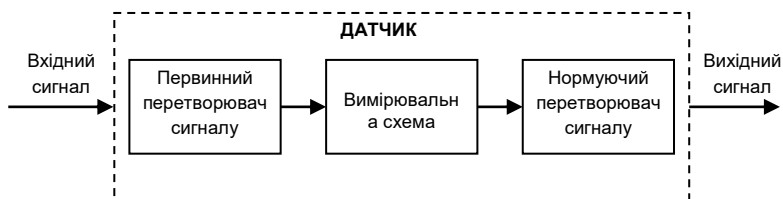


Рис. 4.1 – Структурна схема датчика

Фактично датчик представляє сукупність трьох елементів:

- первинного перетворювача;
- вимірювальної схеми;
- вторинного, нормуючого перетворювача для надання сигналу на виході датчика стандартного виду.

Розрізняють три класи датчиків:

- *аналогові датчики*, тобто датчики, що виробляють аналоговий сигнал;
- *цифрові датчики*, що генерують послідовність імпульсів або двійкове слово;
- *бінарні (двійні) датчики*, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: «включено/вимкнено» (інакше кажучи, 0 або 1).

Залежно від обсягу інформації, що збирається, датчики поділяються таким чином:

- що визначають наявність або відсутність сигналу – *однобітові*;
- що визначають чи відповідає сигнал бажаному, а також знак відхилення – *двобітові*;
- що видають значення вимірюваної величини із заданою точністю в цифровому вигляді – *n-бітові*, точність вимірювання і число біт в двоїчному слові пов'язані між собою;

- точність вихідного сигналу, яких залежить від вхідного сигналу – при великих менше, а при малих вище (n -бітові), при цьому кількість біт є функцією вхідного рівня сигналу.

Перші 2 групи (по своїй дії) відносяться до вимірювальних реле, відповідно до двох і трьохпозиційним – кількість станів їх виходів.

Датчики є найважливішим вузлом систем автоматики, тому що їх неточність впливає на роботу системи в цілому. У реальних умови датчики знаходяться в місцях з більш небезпечною зовні середовищем, ніж інші вузли систем автоматики і практично їх неможливо захистити від впливу високих температур, вібрації, екстремальних моментів і сил, а також інших факторів. На роботу датчиків також можуть впливати різноманітні сигнали випадкового характеру, в тому числі вимірювальні шуми.

Під зовнішнім впливом розуміється кількісна характеристика об'єкта, його властивість чи якість, які необхідно сприйняти і перетворити в електричний сигнал. У деяких літературних джерелах для цих цілей використовується термін вимірювана величина, що має аналогічне значення, проте в цьому терміні робиться акцент на кількісній характеристиці сенсорної функції.

Призначення датчиків – реакція на певну зовнішню фізичний вплив і перетворення його в електричний сигнал, сумісний з вимірювальними схемами. Іншими словами, можна сказати, що датчик – це перетворювач фізичної величини (часто неелектричної) в електричний сигнал. Під терміном електричний сигнал розуміється сигнал, який може бути перетворений за допомогою електронних пристроїв, наприклад, посилено або переданий по лінії передач.

Вихідними сигналами датчиків можуть бути напруга, струм або заряд, які описуються такими характеристиками: амплітудою, частотою, фазою або цифровим кодом. Цей набір характеристик називається форматом вихідного сигналу. Таким чином, кожен датчик характеризується набором вхідних пара-

метрів (будь-якої фізичної природи) і набором вихідних електричних параметрів.

Будь датчик є перетворювачем енергії. Незалежно від типу вимірюваної величини завжди відбувається передача енергії від досліджуваного об'єкта до датчика. Робота датчика – це особливий випадок передачі інформації, а будь-яка передача інформації пов'язана з передачею енергії. Очевидним є той факт, що передача енергії може проходити в двох напрямках, тобто вона може бути як позитивною, так і негативною, наприклад, енергія може передаватися від об'єкта до датчика, і, навпаки, від датчика до об'єкта.

Особливим випадком є ситуація, при якій енергія дорівнює нулю, але і в цьому випадку відбувається передача інформації про існування саме такої особливої ситуації. Наприклад, інфрачервоний датчик температури виробляє позитивне напруження, коли об'єкт тепліше датчика (інфрачервоне випромінювання направлено в сторону датчика), або негативна напруження, коли об'єкт холодніше датчика (інфрачервоне випромінювання направлено від датчика на об'єкт). Коли датчик і об'єкт мають однакову температуру, інфрачервоний потік дорівнює нулю, і вихідна напруження також дорівнює нулю. У цій ситуації і поміщена інформація про рівність температур датчика і об'єкта.

Поняття датчик необхідно відрізнити від поняття перетворювач. Перетворювач конвертує один тип енергії в інший, тоді як датчик перетворює будь-який тип енергії зовнішнього впливу в електричний сигнал. Прикладом перетворювача може служити гучномовець, що конвертує електричний сигнал в змінне магнітне поле для подальшого формування акустичних хвиль. Тут мова не йде ні про яке сприйняття зовнішньої інформації. (Цікаво відзначити той факт, що якщо гучномовець підключити до входу підсилювача, він буде працювати як мікрофон. У цьому випадку його можна назвати акустичним датчиком.)

Перетворювачі можуть виконувати також функції приводів. Привод можна визначити як пристрій, протилежне

датчику, оскільки він перетворює електричну енергію, як правило, в неелектричну енергію. Прикладом приводу є електричний мотор, що перетворює електричну енергію в механічну.

Статичні характеристики датчика показують, наскільки коректно вихід датчика відображає вимірювану величину через деякий час після її зміни, коли вихідний сигнал встановився на нове значення. Важливими статичними параметрами є: чутливість, роздільна здатність або дозвіл, лінійність, дрейф нуля і повний дрейф, робочий діапазон, повторюваність і відтворюваність результату [17].

- **Чутливість** (*sensitivity*) датчика визначається як відношення величини вихідного сигналу до одиничної вхідної величиною (для тонких вимірювальних технологій визначення чутливості може бути більш складним).

- **Дозвіл** (*resolution*) – це найменша зміна вимірюваної величини, яка може бути зафіксована і точно показано датчиком.

- **Лінійність** (*linearity*) не описується аналітично, а визначається виходячи з градуїровочної кривої датчика. Статична градуїровочна крива показує залежність вихідного сигналу від вхідного при стаціонарних умовах. Близькість цієї кривої до прямої лінії і визначає ступінь лінійності. Максимальне відхилення від лінійної залежності виражається у відсотках.

- **Статичне посилення** (*static gain*) або посилення по постійному струму (*dc gain*) – це коефіцієнт посилення датчика на дуже низьких частотах.

Великий коефіцієнт посилення відповідає високій чутливості вимірювального пристрою.

- **Дрейф** (*drift*) визначається як відхилення показань датчика, коли вимірювана величина залишається постійною протягом тривалого часу. Величина дрейфу може визначатися при нульовому, максимальному або деякому проміжному значенні вхідного сигналу. При перевірці дрейфу нуля вимірювана величина витримується на нульовому рівні або рівні, який відповідає нульовому вихідному сигналу, а перевірка

дрейфу на максимумі виконується при значенні вимірюваної величини, відповідному верхньої межі робочого діапазону датчика. Дрейф датчика викликається нестабільністю підсилювача, зміною навколишніх умов (наприклад, температури, тиску, вологості або рівня вібрацій), параметрів електропостачання або самого датчика (старіння, вироблення ресурсу, нелінійність і т.д.). Робочий діапазон (operating range) датчика визначається допустимими верхнім і нижнім межами значення вхідної величини або рівня вихідного сигналу.

- **Повторюваність** (*repeatability*) характеризується як відхилення між кількома послідовними вимірами при заданому значенні вимірюваної величини в однакових умовах, зокрема наближення до заданого значення має відбуватися завжди і або як наростання, або як спадання. Вимірювання повинно бути виконані за такий проміжок часу, щоб не виявлявся вплив дрейфу. Повторюваність зазвичай виражається у відсотках від робочого діапазону.

- **Відтворюваність** (*reproducibility*) аналогічна повторюваності, але вимагає більшого інтервалу між вимірами. Між перевітками на відтворюваність датчик повинен використовуватися за призначенням і, більше того, може бути підданий калібрування. Відтворюваність задається у вигляді відсотків від робочого діапазону, віднесених до одиниці часу (наприклад, місяця).

Модуляція – зміна в часі одного або декількох параметрів сигналу. Застосовується для декількох параметрів сигналу. Застосовуються амплітудна і частотна модуляції.

Кодування – відображення стану однієї системи за допомогою іншої. Мета цього процесу – зберігання, передача та обробка інформації, що знаходиться в дискретних повідомленнях. Кодування застосовується для представлення інформації у вигляді, зручному для обробки в ЕОМ [17].

4.1. Характеристики датчиків (статична, динамічна, частотна)

4.1.1. Статична характеристика датчика

Статична характеристика датчика (вхід-вихід) відображає функціональну залежність вихідного сигналу від вхідного параметра в сталому режимі.

Під динамічною характеристикою датчика розуміють поведінку вихідної величини під час перехідного процесу у відповідь на миттєву (ступінчасту) зміну вимірюваної вхідної величини.

Якщо в статичній характеристиці датчика будується залежність тільки між значенням вихідної величини Y у відповідь на зміну вхідної величини X , то в динамічній характеристиці датчика бере участь параметр часу і така характеристика є залежністю виду $Y = Y(t)$.

Очевидно, що значення усталеної вихідної величини датчика є тим значенням, яке приймає його вихідна величина після закінчення усіх перехідних процесів.

Залежність між значеннями, що встановилися, вхідної і вихідної величин стосовно датчиків називається тарировочною кривою.

Різні види статичних характеристик вимірювальних датчиків з пропорційним виходом приведені на рис. 4.2 [18].

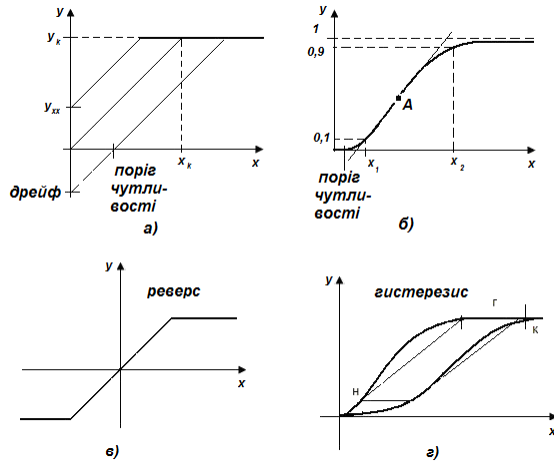


Рис. 4.2 – Статичні характеристики датчиків з пропорційним виходом

а) – ідеалізована статична характеристика; б) – статична характеристика, що ідеалізується, із зоною нечутливості; в) – ідеалізована статична характеристика із зоною нечутливості і насиченням; г) – ідеалізована статична характеристика із зоною нечутливості, насичення і гістерезисом виходу

На рис. 4.2,а приведено статичну характеристику ідеалізованого датчика. Нульовому значенню вхідної величини в цьому випадку відповідає нульове значення величини на виході.

На рис. 4.2,б приведено ідеалізовану статичну характеристику датчика із зоною нечутливості. У такого датчика зміна вхідної величини до значення порога чутливості, не веде до появи якого-небудь сигналу на виході.

На рис. 4.2,в приведено ідеалізовану статичну характеристику датчика із зоною нечутливості і насиченням.

Нарешті, на рис. 4.2,г приведено ідеалізовану статичну характеристику датчика із зоною нечутливості на вході, з насиченням на виході і з петлею гістерезису.

Гістерезисом називають відмінність між характером відповідності вихідної і вхідної величин при прямому і

зворотному ході зміни вхідної величини. Практично це виражається в тому, що значення вихідної величини при зростанні вхідної величини не співпадає з її ж значеннями при зменшенні вхідної величини, а отже, за наявності гістерезису чутливість датчика при «прямому» і «зворотному» ходах неоднакова. Значення вихідної величини при зростанні вхідної величини може як «випереджати», так і «відставати» в порівнянні з її ж значеннями при зменшенні вхідної величини. У першому випадку говорять про позитивний гістерезис, а в другому – про негативний.

Проте в реальному житті практично не існує датчиків з пропорційною (лінійною) залежністю між значеннями вихідної і вхідної величин. Це означає, що приріст вихідної величини у відповідь на одиничний приріст вхідної величини не є постійним в усьому інтервалі зміни вимірюваної величини. Може створитися така ситуація, коли на початку зміни вхідної величини зміни, що сталися в ній, призводитимуть до істотних змін вихідної величини, а у кінці зміни вхідної величини призводитимуть до малих змін вихідної величини. Може мати місце і зворотна картина. У ряді випадків для зручності подальшого аналізу фактична нелінійна статична характеристика датчика в певних межах вимірювання і з певним впливом на показання цього датчика може бути приблизно замінена деяким лінійним еквівалентом. У певних умовах така операція є допустимою і тоді вона носить назву лінеаризації.

У ряді випадків нелінійний характер статичної характеристики датчика не є шкідливим, а може бути ефективно використаний для різних завдань автоматизації. Прикладом такого роду, широко використовуваним в різних засобах автоматизації, є датчик із статичною характеристикою релейного типу. При зростанні вхідної величини, до того як вона досягне порогу спрацьовування, на виході датчика спостерігатиметься нульове значення вихідної величини, а як тільки вхідна величина досягне порогу спрацьовування, вихідна величина відразу ж «стрибком» досягне своєї максимальної

величини і при подальшому зростанні вхідної величини зростати більше не буде. Прикладом такого роду може служити так зване двопозиційне регулювання температури в звичайному домашньому холодильнику. Як тільки температура усередині холодильника досягне заданої величини, датчик температури (термостат), що має релейну характеристику, увімкне електромотор, холодоагент (фреон) почне прокачуватись. При пониженні температури електромотор відключається і температура усередині холодильника перестає знижуватися.

Раніше розглядалися статичні характеристики таких датчиків, у яких вхідна величина, зростаючи і убуваючи, залишалася більшою від нуля. Як правило, це і має фактично місце при змінах параметрів технологічних процесів машинобудування. Наприклад, це характерно при вимірюванні переміщень робочих органів верстатів, тиску в гідросистемах або температури в гартівних печах. Проте у ряді випадків можливе відхилення вимірюваної величини як в позитивну, так і в негативну сторону. Вихідна величина при цьому може виявлятися пропорційною модулю зміни вхідної величини (або ж залежною від нього нелінійно) як без гістерезису, так і з гістерезисом.

4.1.2. Динамічна характеристика датчика

Динамічна характеристика датчика визначає поведінку датчика в перехідних режимах. Динамічні характеристики визначають залежність вихідного сигналу датчика від мінливих в часі величин: параметрів вхідного сигналу, зовнішніх факторів, навантаження. Залежно від повноти опису динамічних властивостей розрізняють повні і частні динамічні характеристики.

До повних динамічних характеристик відносять перехідну характеристику, імпульсну перехідну характеристику, амплітудно-фазову характеристику, сукупність амплітудно-

частотної і фазово-частотної характеристик, передавальну функцію.

Частна динамічна характеристика не відображає повністю динамічних властивостей датчика. Прикладами таких характеристик є час реакції датчика, коефіцієнт демпфування, значення резонансної власної кутової частоти, значення амплітудно-частотної характеристики на резонансній частоті, запізнювання, час наростання, час встановлення, час першого максимуму, статична помилка, смуга пропускання, постійна часу (рис. 4.3).

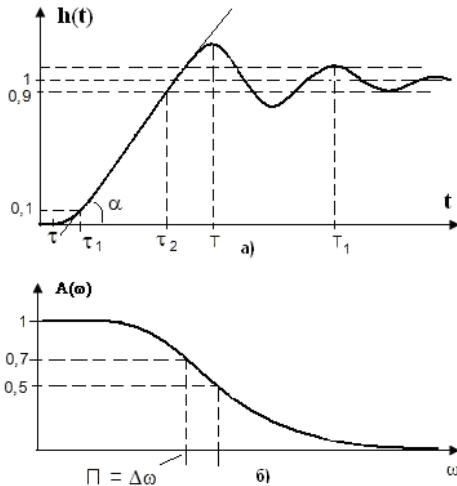


Рис. 4.3 – Динамічні характеристики датчика

Зазвичай для порівняння за рівних умов динамічних характеристик різних датчиків вважають, що на їх входи поступають дії одного і того ж виду, а саме: ступінчасті. Це означає миттєве «накидання» вхідної величини.

Практично це відповідає, наприклад, включенню напруги на електродвигун або приміщенню термопар в гартівну піч і т.д.

Двигун набиратиме оберти не миттєво, а відповідно до динамічних властивостей приводу, в який він включений. Показання термопари також почнуть відображати температуру в печі не миттєво, а у міру розігрівання спаю цієї термопари і т.д.

Для динамічних характеристик датчиків характерні три випадки.

Перший випадок відповідає чистому запізнюванню в датчику, коли його вихідна величина просто повторює (у певному масштабі) вхідну величину, запізнюючись по відношенню до неї на постійну величину.

Другий випадок відповідає аперіодичному характеру перехідного процесу, коли вихідна величина поступово наближається до нового значення, що встановилося, монотонним чином (монотонно убуваючи або ж монотонно зростаючи).

Третій випадок відповідає коливальному характеру перехідного процесу, коли вихідна величина поступово наближається до нового значення, що встановилося, здійснюючи за час перехідного процесу одне або декілька коливань, перевищуючи на якийсь час нове значення вихідної величини, а потім повертаючись до нього.

Динамічні процеси в датчиках характеризуються показниками якості перехідного процесу. До їх числа відносяться:

- час завершення перехідного процесу;
- величина перевищення впродовж перехідного процесу вихідного параметра над його новим значенням, що встановилося;
- число коливань вихідної величини за час завершення перехідного процесу.

Використовується також інтегральний показник якості перехідного процесу, що зазвичай є підінтегральною площею кривої перехідного процесу.

Для датчиків виробничих параметрів важливими характеристиками є також:

- діапазон вимірювань, тобто різниця між допустимими максимальним і мінімальним значеннями вимірюваної величини, що встановилися;

- смуга пропускання, тобто різниця між максимальною і мінімальною частотами зміни вхідної величини, для роботи з якими призначений цей датчик.

4.1.3. Частотні характеристики

Частотними характеристиками називають залежності, що встановлюються в режимі, що встановився, вхідні і вихідні величини лінійної системи, коли величини, що подаються на її вхід, змінюються в часі за гармонійним законом. Звернемо увагу на те, що усталений режим зовсім не означає нерухомості. Це означає лише те, що після закінчення часу перехідного періоду в системі встановиться рух з параметрами, що не змінюються.

Зокрема, якщо на вхід такого компонента системи подається гармонійна дія виду:

$$X(t) = a \sin \omega t ,$$

з частотою ω і амплітудою a , те через деякий час, необхідний для завершення перехідного процесу, на виході цього компонента також встановляться синусоїдальні коливання з тією ж частотою, але відмінні за амплітудою і зміщенням по відношенню до синусоїдального сигналу на вході цього компонента по фазі, що записується наступним співвідношенням:

$$Y(t) = A \sin(\omega t + \varphi).$$

На комплексній площині вхідна $X(t)$ і вихідна $Y(t)$ величини для кожного моменту часу t зображуються векторами a і A , проведеними з початку координат під кутами ωt і

$(\omega + \varphi)$. Дійсні частини гармонійних вхідних і вихідних величин, представлених в комплексній формі, рівні відповідно $a \cos \omega t$ і $A \cos \omega t$, а уявні частини – $a \sin \omega t$ і $A \sin \omega t$.

Графічне зображення гармонійної дії представлено на рис. 4.4. Вертикальна вісь координат відповідає уявним частинам вхідної і вихідної величин, а горизонтальна вісь – їх дійсним частинам.

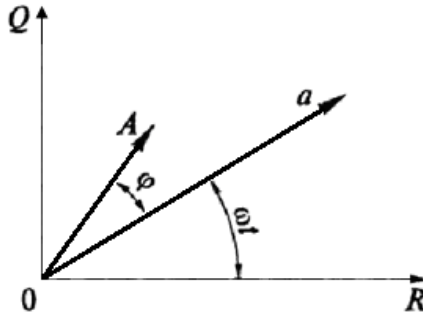


Рис. 4.4 – Зображення гармонійної дії на комплексній площині

Позначивши $Y(t) / X(t) = W(j\omega)$, отримаємо:

$$W(j\omega) = [A \exp j(\omega t + \varphi)] / a \exp j\omega t = (A/a) \exp(j\varphi).$$

Відношення $W(j\omega)$ називається комплексним передаточним коефіцієнтом. На комплексній площині цей коефіцієнт фактично зображується у вигляді точки. При зміні частоти дії ω від 0 до ∞ змінюються і значення модуля вихідної величини (довжина відрізка від початку координат до цієї точки), і зрушення її фази φ відносно вхідної дії. Кінець відрізка, що знаходиться в цій точці, при цьому описуватиме деяку криву, характерну для цього датчика, вона називається годографом. Цей годограф називається амплітудно-фазовою характеристикою (АФХ) цього датчика.

Залежність модуля комплексного передатного коефіцієнта W від частоти ω називається амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) цього датчика.

Залежність зсуву фази φ від частоти ω називають фазово-частотною характеристикою (ФЧХ) цього датчика.

Амплітудно-фазова характеристика і витікаючи з неї АЧХ і ФЧХ відносяться тільки до ustalених режимів.

4.2. Похибки вимірювання

Що стосується похибок вимірювання виробничих параметрів, що неминуче виникають у будь-яких практичних системах автоматизації, то їх прийнято класифікувати таким чином:

- систематичні;
- прогресуючі;
- випадкові;
- похибки застосування.

4.3. Типові вхідні дії

Для отримання статичних і динамічних характеристик датчиків параметрів на входи цих датчиків подають типові дії і спостерігають, як випробовуваний датчик реагує на дію, що подається.

До таких типових вхідних дій належать:

- ударна, або миттєва;
- ступінчаста;
- лінійна;
- гармонійна.

Ударна вхідна дія, що називається також S – функцією, є «піковою» дією, яка має нескінченно велику (прямуючу до ∞) ординату при нескінченно малій (прямуючій до 0) ширині Δt (тривалість цієї дії). У разі, коли вимірюваним параметром є

якась сила, вона може бути дійсно інтерпретована як удар. Графік такої типової вхідної дії, що додається до датчика у момент часу t^* , приведений на рис. 4.5,а [18].

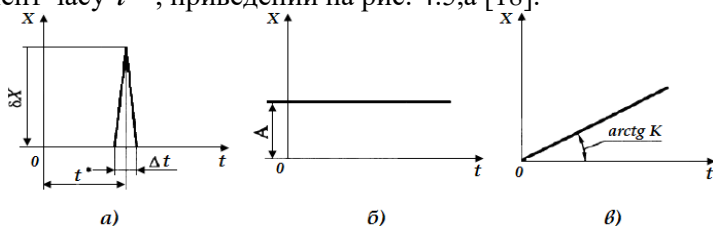


Рис. 4.5 – Графіки ударної, ступінчастої і лінійної вхідних дій
 а) ударної вхідної дії; б) ступінчастої вхідної дії; в) лінійної вхідної дії

Ступінчата вхідна дія – це миттєва зміна вхідного параметра на кінцеву величину. Записується воно звичайно у вигляді $X = A \left[\begin{smallmatrix} 3 \\ \end{smallmatrix} \right]$. Це трактується таким чином, що при $t < 0$

$X = 0$, а при $t > 0$ $X = A$. Ступінчата дія, при якій величина стрибка на вході датчика дорівнює 100 % усієї вимірюваної величини, називається одиничною дією. Графік дії такого роду показаний на рис. 4.5,б.

Прикладом ступінчастої дії може служити замикання або розмикання кола постійного струму, прикладання або скидання навантаження за допомогою механізму зчеплення або керованої муфти та ін. Ступінчата дія є настільки поширеною і важливою у виробничій практиці, що вихідна реакція на дію такого роду виділяється серед інших динамічних характеристик і носить спеціальну назву тимчасової характеристики.

Графік ступінчастої вхідної дії, приведений на рис. 4.5,б, є ідеалізованим, оскільки він припускає «миттєве» (тобто за відрізок часу, рівний 0) наростання вхідної величини від 0 до A. Насправді таке «миттєве» наростання вхідної величини неможливе і станеться за відрізок часу $\Delta t \neq 0$. На цьому відрізку часу вхідну величину можна вважати наростаючою за лінійним законом, що також є ідеалізацією. У загальному

випадку таке наростання вхідної величини датчика реально повинне відбуватися за тим або іншим нелінійним законом.

Лінійна вхідна дія на датчик має на увазі зміну в часі вхідної величини за лінійним (пропорційному) законом. В цьому випадку $X = K_t$, де K – константа. Такий вид типової дії широко застосовується при випробуваннях наступних систем, а саме таких систем, коли вихідний параметр системи повинен відтворювати в тому або іншому масштабі деяку задавальну величину, характер змін якої заздалегідь не зумовлений. Прикладом такого роду є наступна система, у якій переміщення силового супорта повинне «відстежувати» переміщення задавального копіювального щупа, що взаємодіє без особливого навантаження з шаблоном. Графік лінійної вхідної дії зображений на рис. 4.5,в.

Гармонійна вхідна дія – це така дія, при якій вхідна величина змінюється за гармонійним законом, тобто за законом синуса або косинуса.

Така дія застосовується тоді, коли здійснюється випробування виробу або його компонента за допомогою частотних методів. Прикладом такого роду є дослідження підвіски автомобіля на вібростенді. Суть таких випробувань полягає в тому, що досліджувану підвіску «трясуть» так, що змінюється частота і амплітуда і дивляться, що при цьому відбувається. Метою дослідження виробу або його компонентів частотними методами є отримання частотних характеристик цього виробу або компонента.

Контрольні питання:

1. Що таке первинне перетворення?
2. Що таке вторинне перетворення і за рахунок яких засобів воно відбувається?
3. Наведіть функціональну схему датчика.
4. Які три класи датчиків розрізняють?
5. Приведіть статичні характеристики датчика.
6. Що таке «чутливість» датчика і як вона визначається?

7. Що таке «дрейф» датчика і як він визначається?
8. Що розуміють під статичною характеристикою датчика?
9. Що розуміють під динамічною характеристикою датчика?
10. Що називають частотними характеристиками датчика?

5. ДАТЧИКИ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

Механічні величини є найважливішими параметрами, контрольованими в технологічних процесах практично в усіх галузях народного господарства. Збільшення точності вимірювання механічних параметрів підвищує вірогідність одержуваних результатів вимірів і надійність функціонування систем. Потреба у вимірювальних приладах в умовах промисловості, що розвивається, наростає, й одночасно потрібне розширення їхніх можливостей та поліпшення технічних і експлуатаційних характеристик. Це досягається застосуванням нових конструкцій вимірювальних перетворювач механічних величин (ПМВ), схемотехнічних рішень, а також засобів сучасної цифрової електроніки й алгоритмічних методів корекції похибок і т. ін. Питання підвищення точності вимірів, довгострокової стабільності метрологічних характеристик, розширення функціональних можливостей перетворювачів і зниження собівартості є закономірними в постійному еволюційному процесі розвитку й удосконалювання засобів вимірювань.

Механічні величини можна розділити на три основні групи:

- лінійні та кутові розміри, геометричні параметри площин;
- узагальнені сили, напруження, тиски, моменти сил;
- параметри руху — положення, швидкості та прискорення (лінійні та кутові) (рис. 5.1).

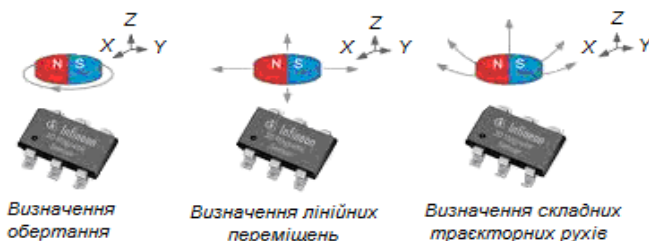


Рис. 5.1 – Датчики параметрів руху

Вимірювання проводять за допомогою різноманітних датчиків, що здійснюють функцію первинного елемента перетворення, що сприймає інформацію від об'єкта та перетворює її для передачі в канали інформаційно-вимірювальних систем. Якщо датчики будуть мати недостатню швидкодію, велику похибку, низьку надійність, то й уся система, незалежно від ступеня досконалості обчислювальних пристроїв, буде працювати незадовільно. Датчики — це джерела вихідної інформації, їхня похибка не може бути скорегована ніякими наступними пристроями.

Технічна досконалість датчиків механічних величин залежить від безлічі конструктивно-технологічних і схемотехнічних рішень. При цьому величезний потенціал закладено у питаннях реалізації пружного елемента, його фізико-механічних властивостях, конструкції та технології виготовлення. Тиск незмінно посідає перше місце серед усіх контрольованих параметрів, до того ж багато видів вимірювань базуються на перетворенні тисків (сила, рівень, витрата, переміщення та т. ін.).

Вимір нестаціонарних тисків і переміщень пред'являє низку особливих вимог до пружних елементів перетворювачів.

Пружний елемент повинен мати певні динамічні властивості, мати лінійну пружну характеристику та високу чутливість.

Від динамічних властивостей пружного елемента залежить одержання правильного запису швидкозмінних величин. Найважливішими параметрами, що характеризують якість системи, є власна частота коливань і величина сил опору коливальної системи. Однак найбільш повне уявлення про динамічні властивості коливальної системи можна одержати за допомогою амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик.

Для сучасних промислових виробництв характерна тенденція застосування датчиків в інтерактивному режимі, тобто

коли результати вимірювань одразу використовуються для регулювання параметрів технологічного процесу [19]. Завдяки цьому у будь-який момент забезпечують коректування параметрів техпроцесу, що приводить до зростання продуктивності та підвищення якості продукції, а в цілому, до більш раціонального виробництва продукції. Цілком природно, що для забезпечення безперервного та безперебійного режиму роботи такі датчики повинні мати виключну надійність.

Для покращення метрологічних та інформаційних характеристик існуючих та розроблюваних типів датчиків, використовують нові фізичні принципи на основі застосування сучасних технологій і матеріалів мікроелектроніки. У результаті досягають високої відтворюваності фізико-механічних властивостей та геометричних (розмірних) параметрів основних конструктивних елементів, суттєво зменшуються похибки, масо-габаритні показники і вартість датчиків. При модернізації існуючих типів датчиків формуються задачі зниження похибки, розширення меж вимірювань та підвищення стійкості до умов експлуатації. Модернізації підлягають датчики традиційних конструкцій з перевагою елементів електромеханіки. Покращення їх метрологічних та інформаційних характеристик забезпечують застосуванням нових, сучасніших конструкційних матеріалів, введенням до вимірювальної системи додаткових термокомпенсуючих елементів. Усунення значної частини систематичних похибок досягають за рахунок використання мікропроцесорів, що дозволяють виконувати попередню обробку результатів вимірювань, обробляти не аналогові, а цифрові сигнали, проводити самодіагностику тощо [20].

До найбільш відомих методів вимірювання параметрів положення (переміщення) відносять:

- потенціометричний;
- ємнісний;
- індуктивний;
- гальваномagnetний (Холла);

- магніторезистивний;
- магнітострикційний;
- оптичний.

Керування технологічними процесами за допомогою обчислювальної мережі зв'язку потребує наявності датчиків, сумісних з мікропроцесорами керуючих пристроїв (контролерів, ЕОМ) [21].

5.1. Датчики дискретних механотронних модулів руху

Широке застосування у складі дискретних механотронних модулів руху (ДММР) одержали такі типи вбудованих переналаштовуваних та навісних стаціонарних датчиків:

- магнітокеровані електроконтактні датчики (геркони) для активізації яких використовують магнітне поле постійного магніту, вбудованого у поршень виконавчого пневматичного двигуна (ВПД) у складі ДММР або у вихідній ланці ДММР;

- електроконтактні та пневматичні датчики на основі відповідних мікроперемикачів, спрацьовування яких відбувається за механічної дії на їх вхідну ланку (штовхач) переміщуваної вихідної ланки ДММР або ВПД (штоку, кулачка, каретки, повзуна);

- індуктивні безконтактні датчики з чутливим елементом у вигляді котушки індуктивності зі змінними втратами на вихрові струми при входженні (внесенні) до їх магнітного поля механічного об'єкту впливу, пов'язаного з рухомою вихідною ланкою ДММР або ВПД, що приводить до зміни індуктивності та активного опору (струмовихрові перетворювачі);

- магнітокеровані індуктивні безконтактні датчики зі змінним магнітним насиченням магнітопроводу котушки за взаємодії з магнітним полем переміщуваного разом з вихідною ланкою ДММР чи ВПД постійного магніту, що приводить до зміни струму у робочому ланцюзі.

5.2. Датчики кінцевих і проміжних положень переміщення об'єкта

Цей вид датчиків використовується в основному в безпілотних транспортних засобах, промислових роботів, а також пристроях, що вимагають самобалансування.

Датчики кінцевих і проміжних положень (ДКП) переміщень об'єкта (вихідної механічної ланки – ВМЛ) відносяться до датчиків положення і фіксують його бінарний стан «знаходиться / чи не знаходиться в даній точці простору». Такі датчики є невід'ємною частиною, наприклад, роботів з циклових управлінням. Первинними перетворювачами ДКП найчастіше виступають елементи прямого електричного контакту, мікровимикачі, геркони, оптопари з відкритим оптичним каналом, індуктивні датчики, ємнісні датчики, датчики Холла і т. п. [17].

На рисунку 5.2 показана концепція роботи датчика положення.

На валу, приєднаному до об'єкта вимірювання, розташовується діаметрально намагнічений магніт. Змінне поле магніту впливає на матрицю елементів Холла, розташовану на кристалі.

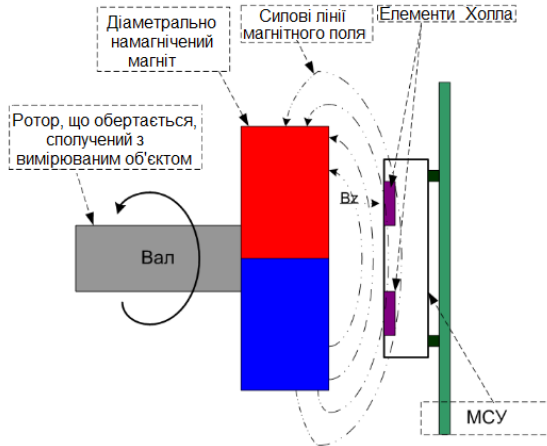


Рис. 5.2 – Концепція роботи датчика положення

5.3. Індуктивні датчики положення

Безконтактні індуктивні датчики положення спеціального виконання:

- перетворювачі переміщення;
- контролю мінімальної швидкості;
- для роботи в середовищі високого тиску;
- кільцеві датчики;
- автотранспортного виконання;
- морського виконання;
- вибухозахищені датчики NAMUR.

В основі більшості індуктивних датчиків (рис. 5.3) лежить принцип перетворення амплітуди коливань контуру в диск-ретний сигнал, що подається на вихідний ключовий підсилювач. В результаті в залежності від ступеня впливу контрольованого об'єкта на сенсор (відстані між об'єктом і сенсором) на виході датчика можна отримати тільки два типи сигналу: включено – виключено. Цього достатньо для ситуацій, коли необхідно визначити наявність або відсутність об'єкта, кількість об'єктів, провести їх сортування, вибракування, оперативно відключити, наприклад, двигун або механізм.

Однак на виробництві іноді виникає необхідність визначити не тільки наявність об'єкта в зоні чутливості датчика, але також визначити вектор його руху, швидкість, відстань до нього, характер поверхні. Дискретні датчики цього зробити не зможуть.

Використання датчиків з аналоговою схемою в вихідному каскаді, індуктивних перетворювачів переміщення (ІПП) ці завдання вирішує. Постійно знімається з чутливою поверхні сигнал несе інформацію про просторово-часові зміни, що відбуваються з контрольованим об'єктом. Після проходження через детектор і підсилювач з сигналу мож-на виділити інформаційну складову, і подати її на спеціальний пристрій або прилад для наочного відображення.

При виборі аналогового датчика враховують такі важливі технічні характеристики як робочий зазор, лінійна зона робочого зазору і лінійність.

Робочий зазор показує мінімальну і максимальну відстань від об'єкта впливу до чутливої

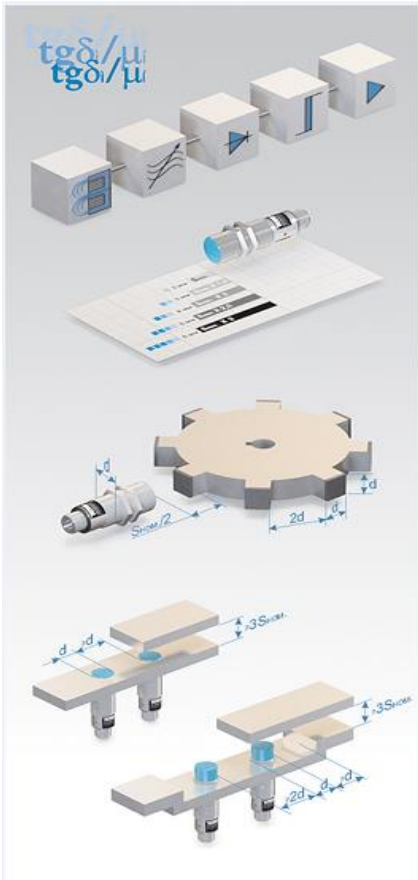


Рис. 5.3 – Індуктивні датчики [22]

поверхні датчика. Для різних видів аналогових датчиків він

може становити від 0,8 мм до 30 мм при ширині чутливої зони від 4,2 мм до 25 мм.

В її межах існує ділянка, де залежність величини вихідного сигналу ($I_{вих}$ або $U_{вих}$) від відстані контрольованого об'єкта до чутливої поверхні датчика пропорційна. Її називають лінійною зоною робочого зазору.



Рис. 5.4 – Сфера застосування індуктивних перетворювачів переміщення [22]

«Якість» лінійної зони, тобто ступінь відхилення її від прямої, враховується показником «лінійність». Він становить 3-5%, чим нижче значення, тим точніше залежність.

Сфера застосування індуктивних перетворювачів переміщення досить обширна, наприклад в системах позиціонування середнього ступеня точності, для сортування, вимірювання товщини, при визначенні нерівності поверхні, в пристроях автоматичної підтримки натягу проводів, тросів і стрічок. При одночасному використанні двох аналогових датчиків можна будувати ефективні системи

позиціонування і центрування, наприклад, при визначенні розвалу-сход-ження коліс (рис. 5.4) [22].

Індуктивні датчики переміщень в якості активного елементу використовують змінну індуктивність або взаємну індуктивність. Якщо рухомим елементом є феромагнітний сердечник, то його переміщення проявляється у зміні коефіцієнта самоіндукції котушки (змінна індуктивність) або в зміні коефіцієнта зв'язку між первинною і вторинною обмотками трансформатора (диференційний трансформатор), що призводить до зміни вторинної напруги.

У трансформаторі зі змінною зв'язком одна обмотка може обертатися щодо іншої. Первинна обмотка утворює індуктор, а вторинна обмотка з наведеним струмом дає напругу у функції кута обертання. Індуктивні датчики підключаються в ланцюг, живиться джерелом синусоїдальної напруги з частотою декількох кГц, і можуть вимірювати безпосередньо лінійне або кутове переміщення. Індуктивні датчики, з одного боку, чутливі до зовнішніх електромагнітних полів, а з іншого – здатні самі їх індукувати. Тому їх необхідно екранувати.

Гідності індуктивних датчиків: слабка залежність від атмосферних умов, придатність до використання в умовах надзвичайно агресивного середовища; значний час напрацювання на відмову; хороша точність і лінійність.

Недоліки індуктивних датчиків: відносно висока вартість як перетворювача, так і каналу введення даних; складність точної обробки знімаються сигналів; потреба живлення стабільним синусоїдальною напругою.

Індуктивні датчики переміщень випускаються серійно у вигляді готових елементів, які залежно від конструкції і способу перетворення вхідного сигналу називаються сельсини, синус-косинусними трансформаторами, індуктосинами, респансинами, резольвер.

Параметри вибору типових індуктивних датчиків переміщення: напруга живлення, частота живлячої напруги, число фаз живлячої напруги, діапазон виміру, максимальна

допустима похибка, роздільна здатність, лінійність, вхідний опір по всіх входів, вихідний опір, спосіб кріплення корпусу і вхідного вала, ОТП.

Зважаючи відносної простоти технології виготовлення індуктивних датчиків іноді стає технічно і економічно обґрунтованим застосування нетипових вбудованих датчиків (рис. 5.5).

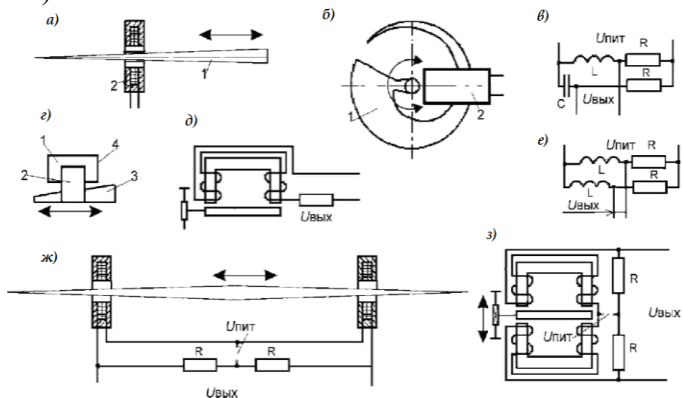


Рис. 5.5 – Схеми розміщення індуктивних датчиків [17]

- а) датчик лінійних переміщень плунжерного типу: 1 – вхідний елемент (сердечник перемінного перерізу), 2 – котушка; б) датчик кутових переміщень плунжерного типу: 1 – вхідний елемент, 2 – котушка; в) мостова схема виділення сигналу з реактивною ємністю; г) датчик лінійних переміщень цілиного типу: 1 – обмотка, 2 – сердечник зі щілиною, 3 – вхідний елемент (рухома вставка), 4 – кришка обмотки; д) датчик лінійних переміщень з плоско-паралельним зазором; е) мостова схема виділення сигналу з реактивною індуктивністю; ж) диференціальний двоактний датчик з роздільними котушками; з) диференціальний двоактний датчик з роздільними магнітопроводами

5.4. Ємнісні датчики

Ємнісні датчики являють собою плоский або циліндричний конденсатор, одна з обкладок якого відчуває вимірюється переміщення, викликаючи зміну ємності. Вони чудові своєю простотою, що дозволяє створювати міцні і надійні конструкції.

Діелектриком зазвичай служить повітря, так що параметри конденсатора залежать тільки від геометричних характеристик і не залежать від властивостей використовуваних матеріалів.

Якщо матеріали правильно підібрані, то можна зробити дуже незначним вплив температури на зміни площі поверхні і відстані між обкладками. З іншого боку, необхідно захищати датчик від тих факторів навколишнього середовища, які можуть погіршити ізоляцію між обкладками: від пилу, вологості, корозії, іонізуючої радіації.

Ємнісні датчики спеціального призначення:

- ємнісні вибухозахищені датчики NAMUR;
- ємнісні датчики рівня.

Ємнісні датчики використовуються в системах управління технологічними процесами в багатьох галузях промисловості. Датчики застосовують для виявлення, підрахунку і позиціонування металевих і неметалевих об'єктів, а також для контролю рівня рідини і сипучих речовин в резервуарах.

У порівнянні з індуктивними датчиками ємнісні безконтактні вимикачі мають переваги:

- реєструють електропровідні і неелектропровідні матеріали в твердому, порошкоподібному або рідкому стані: скло, кераміку, пластмасу, деревину, папір, картон, олія, воду, хімічні речовини;
- працюють через неметалеві матеріали (наприклад, пластмасу або скло).

Типові характеристики ємнісних датчиків:

- різні конструктивні виконання від $\varnothing 12$ мм до $\varnothing 55$ мм;

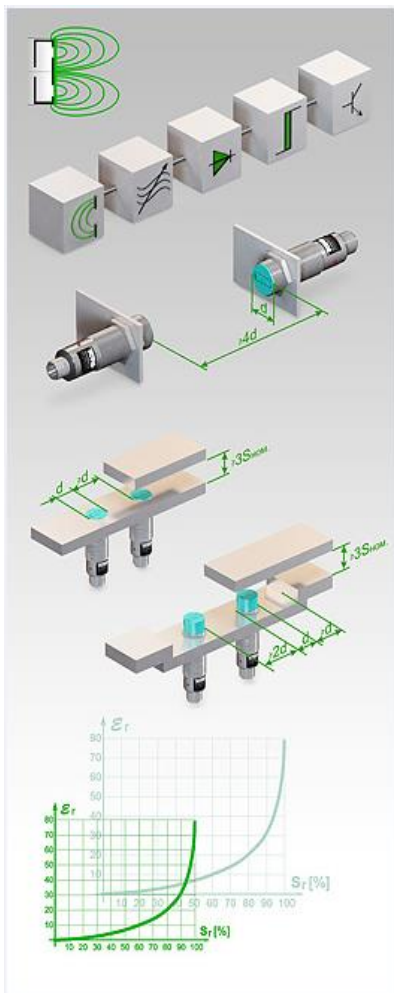
- напруга живлення 10 ... 30В DC, 20 ... 250В / 20 ... 320В DC / AC;
- матеріал корпусу: алюміній, пластмаса, нержавіюча сталь, нікельована латунь, фторопласт;
- типовий діапазон температур – 25 ... + 75 ° С;
- низькотемпературне виконання – 45 ... + 65 ° С;
- високотемпературне виконання – 15 ... + 105 ° С;
- регулювання відстані спрацьовування;
- наявність затримки спрацьовування і / або відключення.

Можливо

виготовлення спеціальних виконань ємнісних датчиків: стійких до агресивних умови навколишнього середовища, перепадів температури, високого тиску і т. д.

Принцип дії ємнісних датчиків (рис. 5.6): між датчиком і навколишнім середовищем існує електростатичне поле. Датчик працює на визначення зміни ємності в цьому ланцюзі. Між навколишнім середовищем і датчиком існує електростатичне поле, при зміні ємності в даному полі (при попаданні в поле будь-якого об'єкта) відбувається спрацьовування.

Датчик має чутливу поверхню, утворену двома електродами конденсатора, включеного в ланцюг зворотного зв'язку



високочастотного генератора. Наближення об'єкта впливу з металу або діелектрика до чутливої по-верхні збільшує ємність між електродами конденсатора і викликає збільшення амплітуди коливань генератора. При досягненні амплітудою генератора порогового значення, схемою управління формується вихідний сигнал електрон-

ного ключа датчика, який використовується для комутації електричних ланцюгів і сигналізації.

Датчик налаштований на номінальний зазор при спрацьовуванні від металевої пластини. При використанні об'єкта впливу з діелектричних матеріалів робочий зазор зміниться і буде залежати від діелектричної проникності матеріалу об'єкта впливу. У разі необхідності можна підлаштувати чутливість датчика на необхідний зазор.

Ємнісні датчики переміщень випускаються у вигляді типових комплектуючих або вбудовують в МУ, об'єднуючи деталі датчика і елементи МУ.

В даний час випускаються типові ємнісні датчики малих лінійних переміщень, що охоплюють діапазон вимірювань від десятків мікрон до десятків міліметрів. Конструктивно лінійні датчики являють собою циліндричний конденсатор з однією з обкладок, що переміщується уздовж осі, виконаний як циліндр з ходовим поршнем (рис. 5.7).

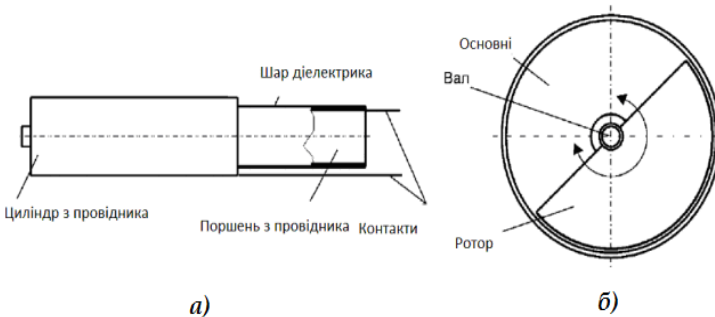


Рисунок 5.7 – Конструкції типових ємнісних датчиків [17]
а) лінійного; б) кутового

5.5. Оптичні датчики



Рис. 5.8 – Оптичний датчик [22]

Оптичний датчик складається з джерела (випромінювача) і приймача оптичного випромінювання, які

Оптичні датчики спеціального призначення:

- щілинні оптичні датчики;
- датчики мітки;
- фотобар'єри;
- аксесуари до оптичних датчиків.

Оптичні датчики призначені для безконтактного визначення наявності / відсутності об'єкта в контрольованому просторі.

Використовуються для автоматизації будь-яких промислових процесів, в робототехніці, системах контролю, обробки та монтажу.

Оптичний датчик може бути використаний для виявлення об'єктів на відстані від 0 до декількох десятків (сотень) метрів. Реєстрація будь-яких об'єктів і велика дальність дії відрізняє фотодатчик від подібного типу пристроїв.

можуть розташовуватися в одному корпусі (моноблочні датчики) або в різних корпусах (двохблокові датчики) (рис. 5.8).

Джерело датчика створює оптичне випромінювання в заданому просторі, приймач реагує на відбитий від об'єкта світловий потік або на переривання його.

Датчик оптичні випускаються такиминаступними типами:

- бар'єрні (тип T);
- ретрорефлекторні (тип R);
- дифузійні (тип D).

5.5.1. Тип T – бар'єрний (рознесена оптика)

Випромінювач і приймач датчика оптичного розташовані в різних корпусах і повинні бути розміщені на одній осі. Світловий потік випромінювача спрямований на приймач. Приймач спрацьовує при перериванні оптичного променя об'єктом контролю.

Призначення: виявлення непрозорих і дзеркальних об'єктів.

Особливості:

- дальність дії досягає 150 метрів,
 - висока надійність і перешкодозахищеність
- уможливають експлуатацію датчиків на відкритих просторах і в умовах забруднення.

Випромінювач і приймач датчика мають різні позначення, і замовляються як окремі вироби.

Датчики бар'єрного типу успішно застосовуються для контролю за виробничими і пакувальними лініями, для вимірювання рівня заповнення прозорих ємностей, в системах проходів і зонах підвищеного ризику.

5.5.2. Тип R – рефлекторний (з відбиттям від світлообертача)

Випромінювач і приймач датчика розташовані в одному корпусі. Світло випромінювача відбивається від рефлектора (світловідбивачі, катафоти) і потрапляє в приймач. Датчик спрацьовує при перериванні променя об'єктом контролю.

Призначення: виявлення непрозорих і напівпрозорих об'єктів.

Особливості: дальність дії досягає 8 метрів.

Оптичні датчики рефлекторного типу активно застосовуються на конвеєрі для підрахунку виробів.

5.5.3. Тип D – дифузійні (з відбиттям від об'єкта)

Випромінювач і приймач датчика розташовані в одному корпусі. Приймач сприймає світло випромінювача, дифузно відбите від контрольованого об'єкта. Датчик спрацьовує при наявності контрольованого предмета в зоні дії датчика.

Особливості: дальність дії залежить від відбивних властивостей об'єкта. При використанні стандартної мішені дальність дії датчика досягає 2 метрів.

5.6. Уристрій і принцип дії індуктивних і ємнісних датчиків наближення

Ємнісні і індуктивні датчики здатні виявляти присутність об'єкта без безпосереднього контакту з ним. При цьому індуктивні вимикачі чутливі тільки до металевих предметів, а ємнісні здатні детектувати будь-які предмети, діелектрична проникність яких відмінна від повітря (наприклад, воду, дерево, метал,

пластик і т.д.). Розглянемо принцип роботи кожного датчика окремо [23].

Основним елементом індуктивного датчика є котушка індуктивності (рис. 5.9). Вона підключена до генератора. Змінна електрична напруга на її висновках викликає змінне магнітне поле. Лінії поля будуть перпендикулярні напрямку струму в витках котушки.

При відсутності поблизу котушки металевих об'єктів лінії магнітного поля замикаються по повітрю. А амплітуда електричних коливань буде максимальною.

Якщо ж до котушки наближати металевий об'єкт, то все більша частина силових ліній почне замикатися через нього. Індуктивність котушки почне збільшуватися. Цей процес схожий з процесом введення сердечника. При цьому зростання індуктивності призведе до зменшення амплітуди і / або частоти коливань.

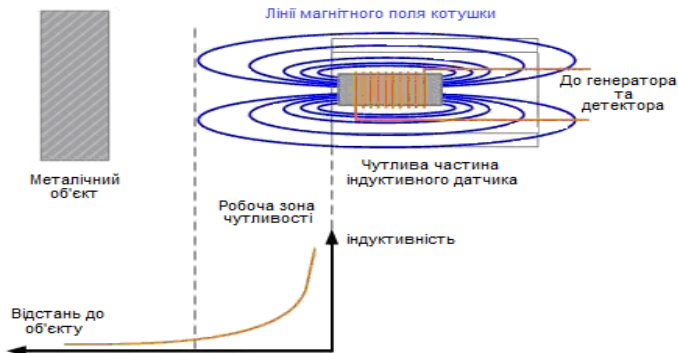


Рис. 5.9 – Принцип роботи індуктивного датчика наближення

Якщо таку систему забезпечити детектором, то зі зміни амплітуди сигналу можна судити про наявність металевого об'єкта, його наближення або видалення.

В основі роботи ємнісного датчика, як випливає з назви, належить використання ємнісних зв'язків. Сам датчик, по суті, являє собою одну з обкладок просторового конденсатора.

Другим обкладанням є земля. В якості діелектрика виступає переважно повітря. Так як діелектрична проникність повітря мала ($\epsilon = 1$), то ємність такого конденсатора не велика. Якщо ж до датчика починає наближатися деякий об'єкт з більш високим значенням ϵ , то сумарна ємність почне збільшуватися (рис. 5.10).

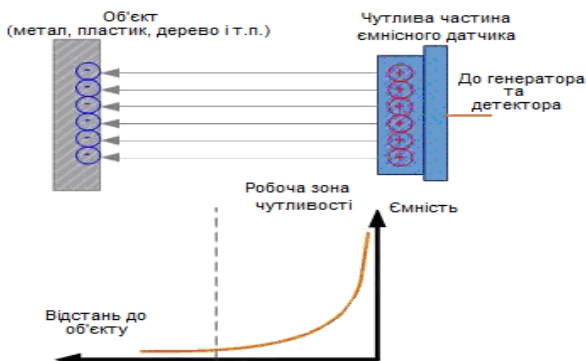


Рис. 5.10 – Принцип роботи ємнісного датчика наближення

Таким чином, за величиною ємності можна судити про наявність об'єкта, його наближення або видалення. При цьому матеріал об'єкта може бути практично будь-яким, важливим є тільки значення його діелектричної проникності.

Як правило, для вимірювання використовуються схеми з перетворенням ємності в частоту або амплітуду коливань, які вимірюються за допомогою детектора. У підсумку, як і в випадку з індуктивним датчиком необхідна наявність двох обов'язкових елементів: генератора і детектора (рис. 5.11).



Рис. 5.11 – Структурні схеми датчиків наближення

Дамо коротку характеристику основних параметрів датчиків наближення.

Зона чутливості або активна зона (Sensing Distance) (мм). Як було показано вище, діапазон дії датчиків наближення обмежений. Значна зміна вимірюваної ємності і індуктивності спостерігається поблизу чутливого елемента сенсора (рис. 5.10 – 5.11).

Сенсор починає «відчувати» об'єкт тільки на досить близьких відстанях, порівнянних з розмірами самого датчика. Ця зона чутливості називається активною зоною. У разі індуктивних датчиків вона визначає область найбільшої щільності ліній магнітного поля.

Відстань спрацьовування (мм). Після потрапляння об'єкта в активну зону датчик перемикається не відразу, а при досягненні якогось порогового значення, яке задається внутрішнім тригером з гістерезисом.

Він необхідний для виключення помилкових спрацьовувань. При цьому включення і виключення датчика відбувається при різному рівні коливань.

Робочий зазор (Setting Distance), (мм) – відстань, на якому гарантовано виявляється заданий об'єкт.

В останньому визначенні використовувався термін «зadаний об'єкт». Необхідно зробити додаткові пояснення. Справа в тому, що всі перераховані характеристики не є жорстко заданими. На їх величину впливає цілий ряд факторів: матеріал і роз-мір об'єкта, температурний дрейф, технологічні параметри самого датчика. З цієї причини всі наведені характеристики вимірюються при використанні конкретного об'єкта при нормальній температурі (зазвичай 20 або 25 ° C).

Вплив матеріалу і розмірів об'єкта виявлення на параметри індуктивних датчиків. Як було показано вище, наближається металевий об'єкт виступає в ролі сердечника для чутливої котушки. Очевидно, що матеріал і форма сердечника значно впливає на значення індуктивності.

З цієї причини все номінальні характеристики відносяться до конкретного об'єкта, який завжди вказується в документації на датчик. Зазвичай це залізна квадратна пластина з заданими розмірами.

5.7. ДКП на основі елементів прямого електричного контакту

Такі датчики складаються з двох контактних елементів, виконаних з металів з високою провідністю і хорошою захищеністю контакту від окислення.

Один елемент встановлюється на рухомому об'єкті, другий – на іншому рухомому або нерухомому об'єкті. При збігу встановленого положення об'єктів контакти замикаються. Для надійності замикання контакти встановлюють на пружних елементах, які забезпечують необхідну силу підтискання контактів. При проектуванні датчиків прямого електричного контакту мож-на починати з вибору конструкції і матеріалів контактів.

Точкові контакти (рис. 5.12,а) [17] застосовують при малій потужності навантаження, приєднуючи плоский контакт до негативного полюса джерела живлення. Лінійні і площинні контакти (рис. 5.12,б,в) застосовують для комутації потужних сигналів. Вимоги до матеріалу контактів: висока твердість і механічна міцність, стійкість до окислення, висока температура плавлення і випаровування, висока тепло і електропровідність.

Найбільш вживані матеріали: мідь, срібло, платино + іридієві сплави, вольфрам, платино + срібні сплави, срібло в сплаві з окисом кадмію.

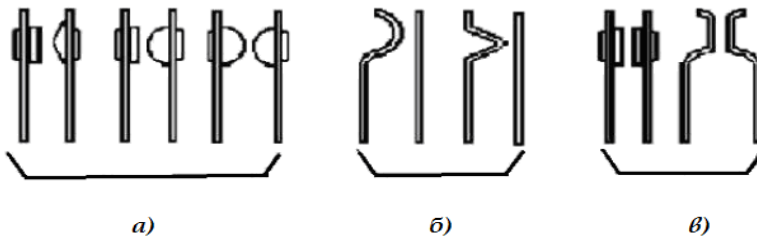


Рис. 5.12 – Типи контактів
а) точкові; б) лінійні; в) площинні

5.8. Герметизовані контакти (геркони)

Геркон (скорочення від «герметичний (магнітокеруємий) контакт») – електромеханічний пристрій, що представляє із себе два феромагнітних контакти, які запаяні в герметичну скляну колбу (рис. 5.13). При виникненні магнітного поля в зоні знаходження геркона (наприклад, піднесенні до геркона постійного магніту або включенні електромагніта) контакти геркона замикаються, утворюючи електричний ланцюг – після зникнення поля – розмикаються.

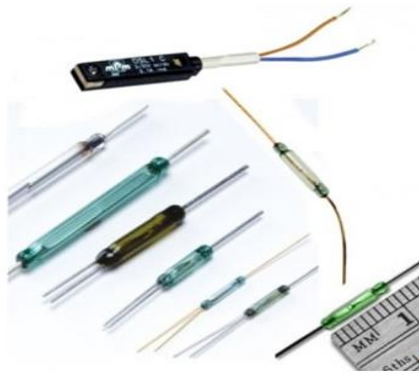


Рис. 5.13 – Приклади герконів

Геркони використовуються як безконтактні вимикачі, датчики близькості і т.п. Якщо роботу геркона поєднати з електромагнітною котушкою, то вийде герконове реле. Існують також інверсні геркони, які розмикають ланцюг при виникненні магнітного поля, і геркони з перемикаючою групою контактів.

Герметизовані магнітокеровані контакти являють собою пластинки з пермаллою, впаяні в колбу з вакуумом (див. рис. 5.14).

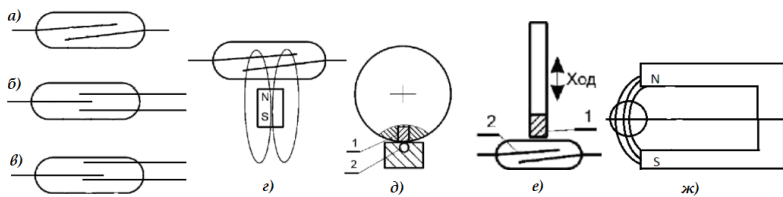


Рис. 5.14 – Геркони

а – замикає з нормально розімкненим контактом; *б* – нейтральний з двома нормально розімкнутими контактами; *в* – переключачий з нормально замкнутим і нормально розімкненим контактами; *г* – схема впливу поля постійного магніту з контактами; *д* – схема визначення кутового положення диска; *е* – схема визначення кінцевого положення штока: 1 – магніт; 2 – геркон; *ж* – схема розміщення геркона і магніту з максимальним використанням магнітного потоку магніту

Зазвичай геркон встановлюють на нерухомому об'єкті, а маленький постійний магніт – на рухомому. Геркон і магніт можна встановити на посадці з натягом або приклеїти.

Геркони розрізняються також за конструктивними особливостями. Вони бувають сухими (з сухими контактами) і ртутними, в яких крапля ртуті змочує контактуючі поверхні, зменшуючи їх електричний опір і запобігаючи вібрації пластин в процесі експлуатації.

Відмінність геркона від датчика Холла:

- геркон – це механічний пристрій, який механічно замикає або розмикає електричний ланцюг при належній зміні напруженості магнітного поля;

- датчик Холла – це напівпровідниковий пристрій, через який під час роботи протікає електричний струм і виникає напруга, пропорційна напруженості магнітного поля.

5.9. Датчики Холла

У другій половині дев'ятнадцятого століття американський учений Едвін Холл відкрив цікаве явище: у напрямку, перпендикулярному магнітним силовим лініям, в провіднику при проходженні через нього постійного струму, виникає електрорушійна сила. На ділі виходить так: на гранях металевої пластини (провідника) виникає потенціал, якщо до неї піднести магніт. У цьому випадку спостерігається сам факт того, що магніт наб-лижається до датчика.

Незважаючи на те, що сам ефект був відкритий в 1879 році, широке використання датчиків на його основі стало можливим з появою інтегральних мікросхем. Суть ефекту полягає в виникненні різниці потенціалів (напруги Холла) перпендикулярно прикладеному магнітному полю і напрямку струму, що протікає (рис. 5.15). І хоча в більшості випадків звичайні датчики Холла використовуються як датчики присутності і розташування, вони також застосовуються для

визначення швидкості, прискорення, і можуть бути застосовані для оцінки сили струму.

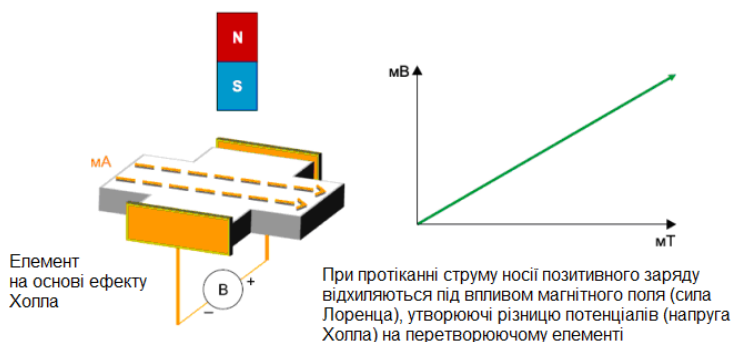


Рис. 5.15 – Принцип виникнення ефекту Холла

Серед причин широкої популярності інтегрованих датчиків Холла можна виділити такі:

- ефект Холла не схильний до впливу пилу бруд, потоку, радіоперешкод;
- він незмінний в широкому діапазоні температур;
- інтегральні мікросхеми, крім перетворювача, містять додаткові блоки для попередньої обробки сигналу і захисту;
- забезпечують високу ступінь повторюваності вимірювання магнітного поля;
- безконтактне застосування.

Датчик Холла є власне елемент Холла й інтегровану електронну схему, що забезпечує попередню обробку вихідного сигналу преобразовательного елемента і захист від зовнішніх електричних впливів. Малі розміри датчиків Холла в поєднанні з їх характеристиками і ціною дозволяють використовувати їх для таких застосувань, як безконтактні вимикачі, безконтактні датчики, безконтактне вимірювання струму в провідниках, управління двигунами тощо. За рахунок своєї підвищеної надійності і малого впливу зовнішніх впливів на функціонал

датчики Холла можна використовувати замість механічних реле (герконів), оптичних і індуктивних датчиків.

Такий ефект не застосовувався повсюдно аж до створення реєстратора випромінювання мікрохвиль. Ще більший поштовх його застосування дали виробники клавіатур для персональних комп'ютерів – датчик, заснований на ефекті Холла, виявився кращим варіантом безконтактної реєстрації положення клавіш. У наші дні в промисловості і мікроелектроніці спостерігається стрімке зростання потреби в таких датчиках. Сам по собі датчик, або сенсор Холла, є невеликим чутливим елементом, який дозволяє відстежувати змінюється магнітне поле.

Популярність йому подарувала важлива особливість – ці пристрої є практично вічними, оскільки в них відсутні частини, схильні до руху і тертя. Наприклад, в клавіатурі завжди ламається контролер, а не сам чутливий елемент. Самі клавіші витримують до тридцяти мільярдів натискань.

Серед інших достоїнств датчика Холла виділяють:

- роботу на частотах до 100.000 Гц;
- просту комутацію з цифровою технікою на логічному рівні;
- широкий діапазон температур (від - 40 до + 150).

Крім клавіатури, датчик Холла знаходить велике застосування і в інших видах техніки. В системі запалювання автомобіля замість звичного переривника. Для роботи він включає постійний магніт, напівпровідникову пластину, інтегральну мікросхему. У зазорі між пластиною і постійним магнітом обертається сталевий екран з нанесеними прорізами. Скільки у двигуна циліндрів, стільки прорізів на екрані. При проходженні через зазор екранної прорізи магнітне поле впливає на платівку. В результаті цього знімається різниця електричних потенціалів. У разі, коли екран розташований в зазорі, на ньому замикаються силові лінії магніту і перестають діяти на пластину. При цьому різниця електричних потенціалів на пластині відсутня. А мікросхема вже перетворює різницю електричних

потенціалів, яка виникає на пластині, в негативні імпульси напруги. Тепер уже імпульси посилаються на комутатор, який управляє режимом роботи котушки запалювання.

Знайшлося датчикам Холла широке застосування і в CD-приводах. Тут вони виглядають як невеликі «чотириножкові». У двигунах приводу їх кількість зазвичай дорівнює трьом. Датчики розташовуються під ротором.

У смартфонах цей датчик має також широкими можливостями. Наприклад, можливість безконтактного управління. Заснований на сенсорах Холла магнітометр зустрічається в сучасних, в першу чергу у флагманських, гаджетах дуже часто.

Звичайно, не всі можливості, які надає датчик Холла, реалізуються в мобільних пристроях в повній мірі. Жорсткі обмеження по габаритах і рівнем споживання електричного заряду акумулятора зводять функції до двох основних.

По-перше, на основі датчика Холла реалізується цифровий компас. Його застосовують в навігаційних програмах для підвищення швидкості позиціонування та підвищення точності розрахунку вектора руху.

За рахунок поєднання малих розмірів, характеристик і ціни датчики Холла є «робочими конячками» для рішень, де вимагається вимірювання магнітного поля. Компанія Texas Instruments випустила перше покоління мікросхем, побудованих на ефекті Холла [24].

Датчики і перетворювачі магнітного поля вже не перший рік використовуються в різних електронних пристроях. Інтерес до даного типу датчиків продовжує зростати, що обумовлено рядом факторів, таких як збільшення кількості автомобілів (в тому числі гібридних і електромобілів), зростаюча популярність електронних компасів, що триває попит від виробників комп'ютерів і периферії. Зростає ефективність самих датчиків, поліпшуються їх характеристики. Основними областями застосування є автомобільна промисловість, споживча електроніка, безпека, медицина.

Лева частка датчиків магнітного поля (практично 40% ринку) припадає на автомобільну промисловість. Це пояснюється зростанням вимог безпеки і широким використанням датчиків в системах безпеки автомобіля, таких як ESC (електронна система управління курсовою стійкістю), модуль вимірювання кута повороту керма, модуль вимірювання сили і крутного моменту, ABS. Також окремий сплеск застосування датчиків магнітного поля спостерігається у виробках споживчої електроніки для реалізації електронного компаса. Таке застосування стає популярним, так як розширює можливості системи навігації в споживчих пристроях.

Існують різні типи датчиків вимірювання магнітного поля, що використовують різні фізичні процеси, такі як ефект Холла, магніторезистивний ефект (AMR, GMR), ефект наведеної індукції та інші. У кожного способу є свої плюси і мінуси. Незалежно від типу, всі датчики виконують схожі функції – перетворюють енергію магнітного поля в електричну енергію і надають інформацію у вигляді зміни вихідного напруги або опору датчика.

В останні десятиліття особливою популярністю користуються бюджетні високоякісні датчики, які використовують для своєї роботи ефект Холла або магніторезистивний ефект. Основна відмінність між цими двома типами датчиків полягає в тому, що магніторезистивні датчики мають дуже високу чутливість, тоді як датчики Холла мають більш лінійної вихідний характеристикою. Хоча на сьогоднішній день датчики Холла займають більше 70% ринку датчиків магнітного поля, нові типи датчиків з застосуванням різних фізичних ефектів не припиняють з'являтися. Приклад – датчики із застосуванням ефекту тунельного магнітного опору (TMR) і надпровідні квантові інтерферометри (SQUID).

5.9.1. Лінійні датчики Холла

Лінійні датчики Холла [26]:

- датчики струму;
- приводи змінної частоти обертання;
- схеми управління і захисту електродвигунів;
- датчики положення;
- датчики витрати;
- безколекторні двигуни постійного струму;
- безконтактні потенціометри;
- датчики кута повороту;
- детектори феромагнітних тіл;
- датчики вібрації;
- тахометри.

5.9.2. Логічні датчики Холла

Логічні датчики Холла:

- датчики частоти обертання;
- пристрої синхронізації;
- датчики систем запалювання автомобілів;
- датчики положення (виявляють переміщення менше 0,5 мм);
- лічильники імпульсів (принтери, електроприводи);
- датчики положення клапанів;
- блокування дверей;
- безколекторні двигуни постійного струму;
- вимірювачі витрати;
- безконтактні реле;
- детектори наближення;
- зчитувачі магнітних карток або ключів;
- датчики паперу (в принтерах);

- датчики струму.

Лінійні датчики Холла можуть бути використані в складі вимірювачів сили струму в межах від 250 мА до тисяч ампер. Найважливішим гідності таких датчиків є повна відсутність електричного зв'язку з вимірюваною ланцюгом. Лінійні датчики дозволяють вимірювати постійні і змінні струми, в тому числі струми досить високої частоти. Якщо лінійний датчик Холла розташований поблизу провідника зі струмом, то вихідна напруга датчика пропорційно індукції магнітного поля, що оточує провідник. Величина індукції, в свою чергу, пропорційна току.

У найпростішому випадку датчик струму являє собою конструкцію, в якій датчик Холла встановлюється близько дроту, по якому тече вимірюваний струм (рис. 5.16,а). Такі датчики використовуються для вимірювання великих струмів, особливо в лініях електропередач. Індукція B визначається за формулою:

$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{r} [Тл],$$

де r – відстань від центру чутливої області датчика до осі симетрії провідника в метрах.

Чутливість датчика струму може бути значно збільшена шляхом використання концентратора магнітного потоку у вигляді муздратрау з прорізом, в яку поміщається лінійний датчик Холла (рис. 5.16,б). В цьому випадку індукція магнітного потоку через датчик:

$$B = 12,57 \times 10^{-7} \frac{IN}{d}$$

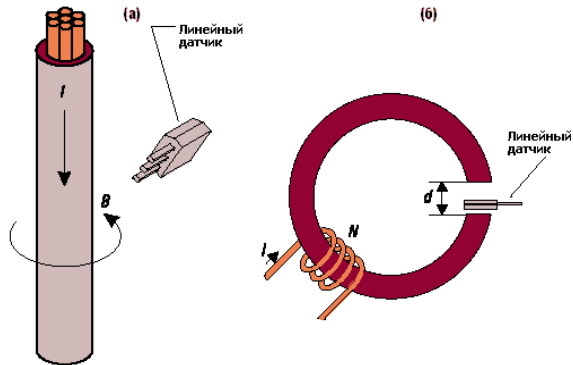


Рис. 5.16 – Конструкція датчиків струму

5.9.3. Лінійний датчик зворотного зв'язку по положенню

Лінійні датчики Холла можуть бути використані в багатьох видах позиційних приводів. Це ілюструється на рис. 5.17, де становище переміщуваної частини, на якій закріплений магніт, встановлюється автоматично таким чином, щоб різниця між сигналом регулювання положення і сигналом датчика дорівнювала нулю. Безколекторні двигуни постійного струму відрізняються від звичайних двигунів постійного струму, що мають колекторно-щітковий вузол, перш за все тим, що комутація секцій якірної обмотки здійснюється електронною схемою, а не механічними легкими контактами. Тому такі двигуни мають набагато більшу надійність і ресурс, вимагають менше обслуговування, майже не створюють електромагнітних перешкод і можуть використовуватися при зниженому атмосферному тиску.

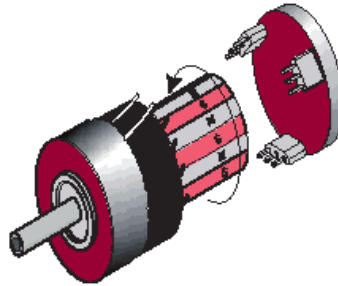


Рис. 5.17 – Датчики положення ротора бесколлекторного двигуна постійного струму

Рисунок 5.18 показує, як може бути отримана інформація про стан ротора для управління електронним комутатором за допомогою трьох датчиків Холла. Робота двигуна цього типу, що представляє собою по суті синхронний двигун, заснована на принципі самосинхронізації. Необхідну для роботи датчиків Холла конфігурацію магнітного поля створюють постійні магніти, встановлені на валу ротора. Датчики зчитують куту позицію вала і передають цю інформацію схемою управління, яка забезпечує своєчасне відмикання і замикання силових ключів електронного комутатора обмоток статора. Подібні датчики положення ротора використовуються і в системах векторного керування двигунами змінного струму.

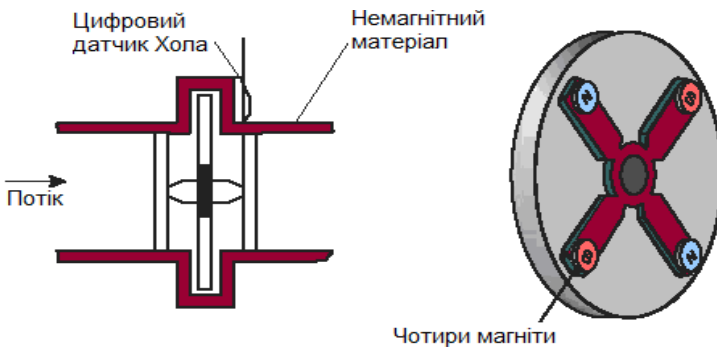


Рис. 5.18 – Датчик витрати

Існують різні методи вимірювання витрати з використанням цифрових датчиків Холла, але принцип у них, як правило, загальний: кожна зміна магнітного потоку через датчик є певною порцією рідини або газу, що пройшла через трубопровід. У прикладі, показаному на рис. 5.18, магнітне поле створюється постійними магнітами, встановленими на лопатях робочого колеса. Робоче колесо обертається потоком води. Датчик видає два імпульсу за оборот колеса.

Ефект Холла застосовується для вимірювання напруженості магнітного поля. Датчики, що використовують ефект Холла, відносяться до генераторних. Вони самі виробляють електричну напругу, що однозначно визначає характеристики вимірюваного магнітного поля. Ефект Холла має місце у всіх матеріалах, хоча і в різному ступені. Практично ж промислові датчики такого роду реалізують на базі напівпровідників.

Сутність ефекту Холла показана на рис 5.19.

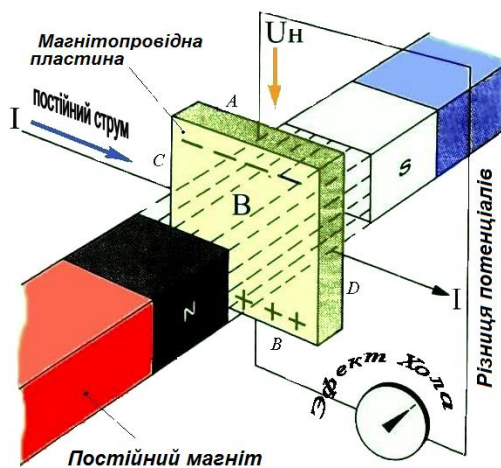


Рис. 5.19 – Сутність ефекту Холла

Якщо пластина напівпровідника одиничної товщини поміщається в магнітне поле з напруженістю H , а вздовж неї

тече струм величиною I і при цьому вектор напруженості електричного поля становить прямий кут з вектором напруженості маг-нітного поля, то на бічних гранях цієї пластини виникає різниця потенціалів U_0 , яка визначається виразом:

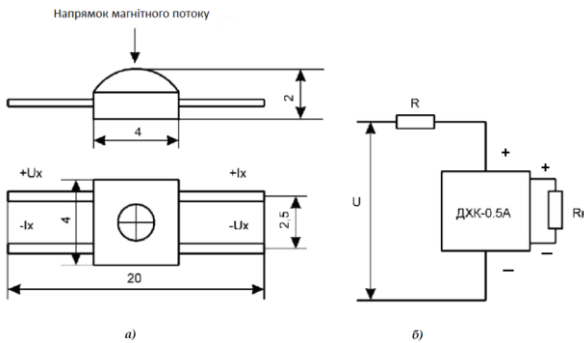
$$U_0 = K_H I H,$$

де K_H – постійна Холла, яка залежить від концентрації вільних носіїв зарядів (електронів та іонів) в матеріалі пластини.

Для того щоб ефект Холла проявлявся в найбільшій мірою, товщина пластини перетворювача повинна бути найменшою. Як напівпровідникові матеріали для пластин датчиків, що використовують ефект Холла, застосовуються зазвичай арсенід індію і фосфід-арсенід індію. Фосфід-арсенід індію використовується при високих температурах [18].

Область застосування: в якості первинного вимірювального перетворювача в приладах для виміру магнітної індукції і в пристроях для вимірювання лінійних та кутових переміщень.

Датчики Холла випускаються у вигляді мікросхем в прямокутному пластмасовому корпусі, який при монтажі може приклеюватися. Приклад датчика Холла показаний на рис. 5.20.



*Рис. 5.20 – Датчики Холла ДХК-0,5А
а) загальний вигляд; б) схема включення*

5.10. Потенціометричні датчики переміщень

Конструктивно потенціометричний датчик складається з каркасу 1, на який намотана в один шар обмотка 2 з тонкого проводу. По витках обмотки ковзає рухливий контакт 3, який механічно пов'язаний з об'єктом, переміщення якого необхідно виміряти (рис. 5.21).

Потенціометричний перетворювач перетворює переміщення чутливого елемента (рухливого контакту) в постійний або змінний струм в наслідок зміни свого електричного опору.

Розрізняють перетворювачі з кутовим (рис. 5.22) та лінійним (рис. 5.23) переміщенням рухливого контакту, гібридної конструкції (рис. 5.24).

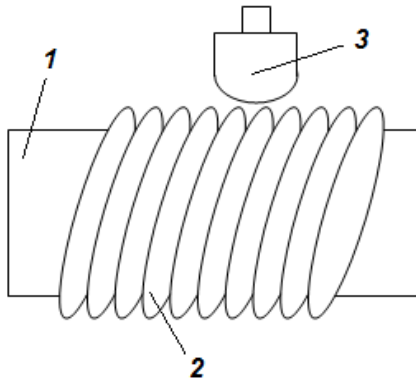
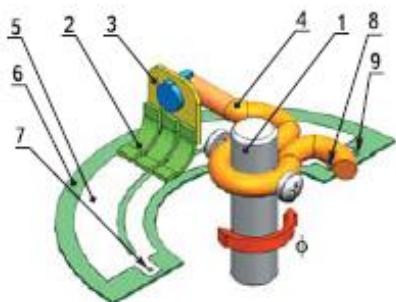
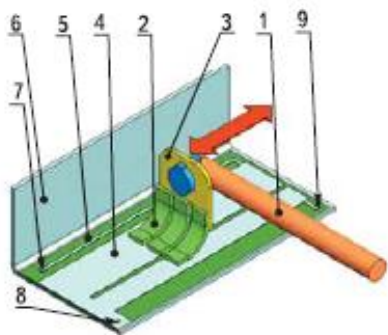


Рис. 5.21 – Принцип дії потенціометричного датчика



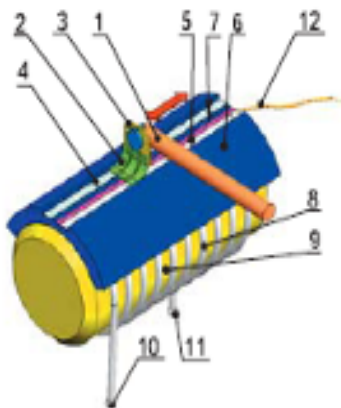
- 1 – вал, що обертається – мета;
- 2 – контактна щітка;
- 3, 4 – елементи механічного кріплення щіток;
- 5 – резистивний шар;
- 6 – друкована плата;
- 7 - 9 – термінали пристрою

Рис. 5.22 – Конструкція кутового датчика (в діапазоні 180°)



- 1 – вал, що обертається – мета;
- 2 – контактна щітка;
- 3 – елемент механічного кріплення щіток;
- 4 – резистивний шар;
- 5 – друкована плата;
- 6 – корпус пристрою;
- 7 - 9 – термінали пристрою

Рис. 5.23 – Конструкція лінійного датчика



1 – вал, що обертається –
 мета;
 2 – контактна щітка;
 3 – елемент механічного
 кріплення щіток;
 4 – резистивний шар, що
 контактує з провідної
 гумою 6 і спіральною
 дротяною котушкою
 опору 8;
 5 – вимірювальна доріжка,
 відокремлена від
 провідної гуми шаром
 ізоляційного матеріалу 7;
 9 – оправлення котушки;
 10 - 12 – термінали
 пристрою

Рис. 5.24 – Конструкція гібридного потенціометра

Застосовують кілька схем включення потенціометрів
 (рис. 5.25). За типом матеріалу і конструкції розрізняють мастич-
 ні, плівкові і дротяні потенціометри [17].

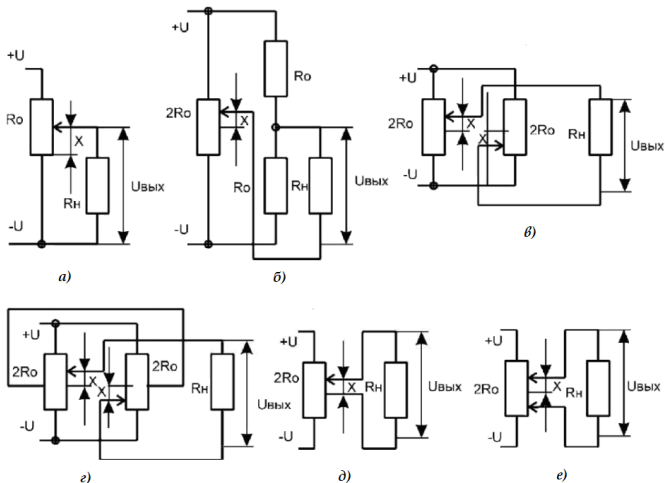


Рис. 5.25 – Схеми включення потенціометрів

а) типове; б) мостове з постійними резисторами; в) мостове з двома постійними резисторами; г) мостове з двома постійними резисторами, з додатковими виходами; д) для потенціометра з додатковим середнім виходом; е) типове для потенціометра з двома зв'язаними повзунками

Потенціометри як елементи мають багато недоліків: обмежену шкалу, низьку роздільну здатність, великий простір, залежність від стабільності живлення, помилку послідовності, істотне зусилля рушання і тертя, але є області застосування потенціометрів, де недорогої альтернативи для них немає, наприклад, в умовах радіоактивності.

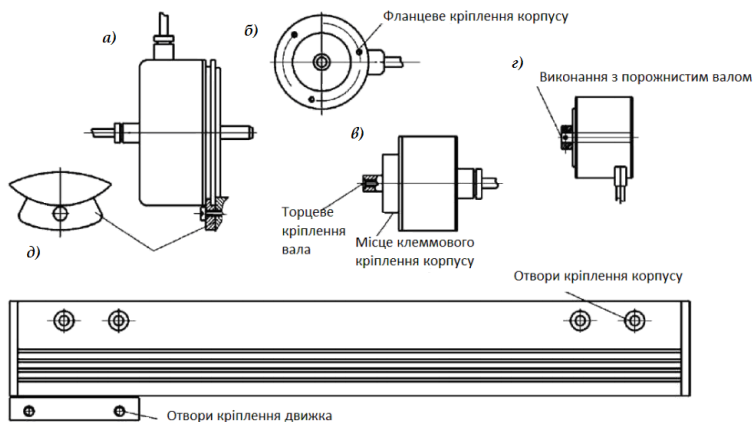
Інкрементальні (інкрементальні) цифрові датчики відображають вимірюється становище кількістю імпульсів, які потім підраховуються з урахуванням напрямку переміщення. Датчики цього типу мало схильні дестабілізуючим чинникам навколишнього середовища, мають велику довговічність, дуже високу точність, але й відносно високу вартість. Їх застосування виправдовується там, де потрібні точність і надійність.

Імпульсні датчики переміщень формують на свій вихід послідовності імпульсів напруги електричного струму,

параметри яких (сума імпульсів, фазовий зсув, частота) або їх комбінація дозволяють оцінити спостережувані змінні. Імпульси формуються за рахунок модуляції потоків енергії – світловий, елект-ромагнітної і т. п. – і перетворення сигналів приймачів цієї енергії в електричні імпульси.

Імпульсні датчики, як правило, мають відносну шкалу відліку, і при запуску приводу з таким датчиком застосовують алгоритми базування за сигналами датчиків кінцевих положень або референтним шкалами.

Імпульсні датчики використовуються у вигляді типових комплектуючих блоків (енкодери, лінійні датчики) або вбудовуються подетально в конструкцію мехатронного пристрою. Приклади компоновальних рішень типових імпульсних датчиків і способів їх кріплення наведено на рис. 5.26 [17].



*Рис. 5.26 – Типові імпульсні датчики
а, б, в, г) перетворювач кутового переміщення; д) перетворювач лінійного переміщення*

Лазерні датчики лінійних переміщень – це відносно новий клас перетворювачів, що вважається досить перспективним. Лазерні датчики будуються за принципом

вимірювання зсуву фаз випромінюваного сигналу лазерного променя і сигналу лазерного променя, відбитого від мішені, відстань до якої вимірюється. Лазерні датчики лінійних і кутових переміщень будуються також за принципом запису на рухомому щодо зчитувача шкалу цифрового коду так, як це робиться, наприклад, на CD дисках.

Параметри вибору лазерних датчиків: спосіб вимірювання переміщень, діапазон вимірюваних переміщень, ціна розподілу шкали, тип вихідного сигналу (аналоговий або цифровий), тип коду для цифрового сигналу (паралельний або послідовний), тип інтерфейсу, рівень вихідних сигналів, гранична швидкість зсуву, напруга живлення, споживана потужність, спосіб кріплення датчика, ОТП.

Введення даних в контролер від лазерних датчиків переміщення здійснюється, як правило, через послідовні або паралельні порти.

Принцип дії магніторезисторів заснований на зміні електричного опору під впливом магнітного поля. Це дозволяє будувати на їх базі датчики обертання і лінійного переміщення, безконтактні потенціометри збільшень і абсолютних величин (рис. 5.27). Особливістю магніторезисторів є те, що перетворювач можна помістити на великій відстані від рухомого об'єкту з джерелом магнітного поля. Крім того, такі датчики володіють високою швидкістю.

Магніторезистори використовують як частину бруківки резистивної схеми. Напруга холостого ходу моста визначається виразом $U_m = K_0 UB$, де K_0 – чутливість моста; U – напруга живлення моста; B – індукція в чутливій зоні. Магніторезисторах найчастіше випускаються у вигляді мікросхем мостів, деякі з них мають ще й підсилювач вихідного сигналу.

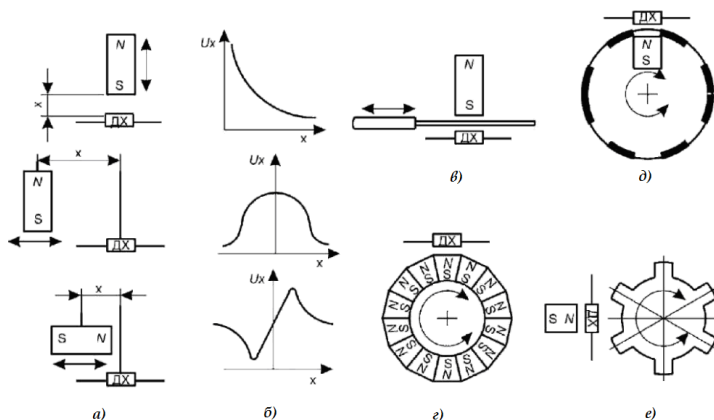


Рис. 5.27 – Схеми застосування елементів Холла в датчиках переміщення [17]
 а) схеми розміщення збудника щодо ДХ; б) характеристики перетворювачів; в–г) конструктивні схеми датчиків

Параметри вибору типових об'ємних датчиків: діапазон вимірювання, мм, радий; основна похибка відносна, %; діапазон робочих температур, °С; додаткова температурна похибка нуля і шкали, % / °С; смуга пропускання, Гц; мінімальна і максимальна довжина датчика в робочому положенні, мм; вага рухомої частини датчика, кг; ОПП.

Схемні і компоувальні рішення об'ємних датчиків можуть мати найрізноманітніші рішення, одне з яких представлено на рис. 5.28.

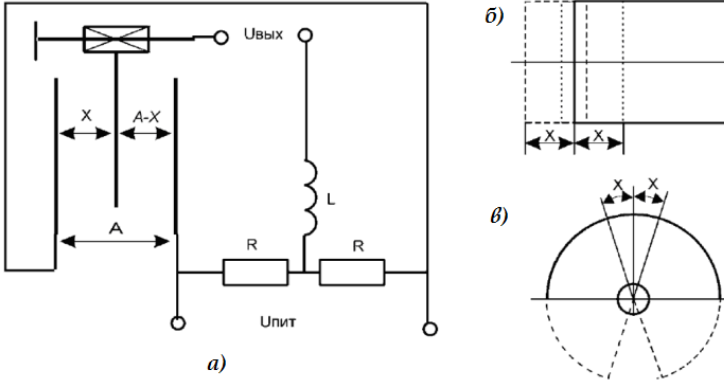


Рис. 5.28 – Об'ємні датчики [17]

а) приклад схеми застосування і включення; б) лінійний датчик;
 в) датчик обертання

Властивості об'ємних датчиків: велика потужність і рівень напруги вихідного сигналу, незалежність від температури і радіації.

Недоліки об'ємних датчиків: істотна нелінійність, малі діапазони вимірювань, живлення змінним струмом, залежність від паразитних ємностей монтажу, великі розміри чутливих елементів, необхідність в індуктивному реакторі.

Виходом датчика є амплітудно-модульований сигнал, який необхідно детектувати і через АЦП вводити в процесор.

Датчики нахилу, на відміну від датчиків кутового положення, вимірюють відхилення в системі координат, пов'язаної із землею, а точніше, з гравітаційним полем землі. До таких датчиків належать насамперед гіроскопічні датчики і рідинні інклінометри.

Контрольні питання:

1. Що таке датчики Холла, область застосування?
2. На які основні групи можна розділити вимірювальні механічні величини?
3. Від чого залежить технічна досконалість датчиків механічних величин?
4. Що таке пружний елемент і які властивості він повинен мати?
5. Яку товщину повинна мати пластини перетворювача для того, щоб ефект Холла проявлявся найбільшою мірою?
6. Як напівпровідникові матеріали для пластин датчиків, що використовують ефект Холла, використовуються?
7. Які вимоги висуваються до матеріалу контактів? Наведіть найбільш вживані матеріали.
8. До якого виду датчиків відносяться датчики Холла?
9. На базі чого реалізують практично всі промислові датчики Холла?
10. Яка будова датчика кінцевих і проміжних положень?
11. За яким принципом працюють фотоелектричні датчики наближення?
12. Властивості об'ємних датчиків.
13. Принцип дії магніторезисторів.
14. Які параметри вибору типових об'ємних датчиків?
15. Які переваги і недоліки індуктивних датчиків?
16. Особливості магніторезисторів.
17. Як за типом матеріалу і конструкції розрізняють потенціометричні датчики?
18. Які недоліки мають потенціометри?
19. Які фактори навколишнього середовища можуть погіршити ізоляцію між обкладинками датчика?

6. ГІРОСКОПІЧНИЙ ДАТЧИК

Гіроскопи – це прилади, що дозволяють відраховувати напрямки в просторі відносно вихідного заданого напрямку, стабілізувати положення об'єкта в просторі. Вони використовуються для навігації, орієнтації, цілевказання та ін.

Гіроскоп (Gyroscope) Альтернативою акселерометра є гіроскоп. Він також є інерційним датчиком. Його назва походить від двох давньогрецьких слів: γῦρος – «коло» і σκοπέω – «дивлюся». Гіроскоп – це пристрій, який здатний реагувати на зміну кутів повороту навколо трьох осей координат X , Y , Z , при цьому відстеження переміщення відбувається відносно трьох площин одночасно. Гіроскоп дозволяє визначити орієнтацію пристрою в просторі і пов'язує ці дані з віртуальним світом [26].

1. Гіроскоп в класичному розумінні

Розглядається нами пристрій, фактично, являє собою дзига, що обертається навколо вертикальної осі. Він закріплений в повертається навколо іншої осі рами. Ця інша вісь теж закріплена в своїй рамі, що повертається навколо третьої осі.

Завдяки цьому як би не повертався дзига, він завжди буде мати вертикальне положення в просторі.

Принцип роботи гіроскопа можна також побачити на рис. 6.1. З нього, зокрема, можна зрозуміти, що в класичному пристрої є вібруючі важки. А частота їх вібрації дорівнює швидкості, помноженої на переміщення.

Завдяки такому явищу, як Каріолісово прискорення, незважаючи на поворот тіла, воно здатне зберігати своє становище відносно площини обертання. Зрозуміло, воно має місце тільки під час обертання.



Рис. 6.1 – Принцип роботи гіроскопа

Власне, на цьому простому властивості тіл, що обертаються і ґрунтується принцип роботи того гіроскопа, який є у більшості з нас в смартфоні.

Розробники навчилися робити гіроскоп набагато простіше і менше. Це дозволило їм вміщати його в невелику плату, яку можна розмістити під корпусом будь-якого сучасного мобільного девайса (рис. 6.2).



Рис. 6.2 – Телефонний гіроскоп

Гіроскопічний датчик кутових переміщень використовує властивість гіроскопа з трьома ступенями свободи зберігати незмінним положення осі власного обертання в просторі. Гіроскоп

визначає кути відхилення в системі координат, пов'язаної з гравітаційним полем.

У техніці вимірювання переміщень і швидкостей переміщень застосовуються такі типи гіроскопічних датчиків: електромеханічні, оптичні (лазерні), волокнисті оптичні, хвильові твердотільні, квантові, п'єзокерамічні (п'єзоелектричні): у формі тригранної призми, біморфний.

Електромеханічний гіроскоп – це прилад, основним елементом якого є швидко обертається ротор, закріплений так, що вісь його обертання може повертатися. Три ступені свободи (осі можливого обертання) ротора гіроскопа забезпечуються двома рамками карданова підвісу (карданного підвісу, кардана). Якщо на такий пристрій не діють зовнішні збурення, то вісь власного обертання ротора зберігає постійний напрям в просторі. Якщо ж на нього діє момент зовнішньої сили, що прагне повернути вісь власного обертання, то вона починає обертатися не навколо напрямки моменту, а навколо осі, перпендикулярної йому (ефект прецесії). У добре збалансованому (астатичному нестійкий) і досить швидко обертається гіроскопі, встановленому на довершених підшипниках з незначним тертям, момент зовнішніх сил практично відсутня, так що гіроскоп довго зберігає майже незмінною свою орієнтацію в просторі. Тому він може вказувати кут повороту підстави. Якщо ж поворот осі гіроскопа обмежити пружиною, то при відповідній установці його, скажімо, на рухомій платформі, яка виконує розворот, гіроскоп буде деформувати пружину, поки не урівноважиться момент зовнішньої сили.

Параметри вибору електромеханічних гіроскопів: кількість вимірюваних змінних; похибка вимірювання, радий; час готовності, хв; крутизна статичної характеристики, мВ/град; тип вихідного сигналу (аналоговий, цифровий); вихідна напруга, В; вихідний опір, Ом; рід струму живлення (змінний з числом фаз і частотою, постійний); напруга, В; ресурс, год; ОТП.

Відцентрові датчики використовують вимір відцентрової сили як функції кутової швидкості обертання тіла. Чутливим елементом зазвичай служить підпружинене тіло, що переміщається в радіальному каналі обертового ланки. Величина його переміщення є функцією кутової швидкості. Джерела похибок – втрати на тертя, нестабільність і нелінійність пружних елементів, роздільна здатність вимірників переміщення. Істотний недолік – складність виведення інформаційного сигналу в нерухому частину пристрою, відносно висока похибка вимірювання. Спосіб перетворення вихідного сигналу пов'язаний зі способом виміру відцентрової сили. Якщо застосовуються динамометри на властивостях закону Гука, то тип вихідного сигналу пов'язаний зі способом вимірювання положення підпружиненого тіла, якщо відцентрова сила вимірюється тензомостом, то введення сигналу реалізується АЦП.

Гіроскопічні датчики в режимі вимірювання швидкості можуть виявитися ефективним засобом вимірювання швидкості.

Існують різні типи гіроскопів: з обертовою механічною масою, лазерні, мікромеханічні з коливними рамками, з вібруючим кільцем.

До переваг мікрогіроскопів коливального типу (МГКТ) можна віднести такі:

- можливість мікрвиконання електронної та механічної підсистем приладу;

- досить високу точність вимірювання кутових параметрів;

- можливість групового виготовлення пристроїв;

- висока надійність, можливість резервування.

Механічні системи мікрогіроскопів коливального типу (рис. 6.3) містять декілька рухомих рамок (2 або 3), які можуть коливатися у взаємноперпендикулярних площинах. Коливання в одній площині є змушеними, визначають вихідний напрямок. Коливання, що наводяться, в інших площинах з'являються тоді, коли гіроскоп повертається відносно вихідного напрямку.

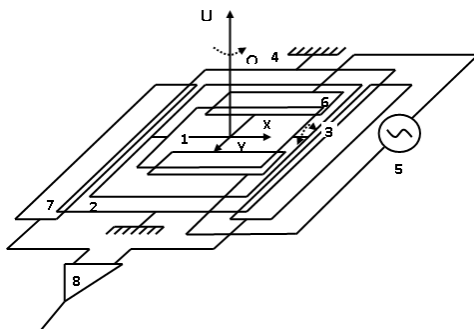


Рис. 6.3 – Структурна схема МГКТ [27]

МГКТ містить внутрішню коливальну систему 1 і зовнішню рамку 2. Між собою вони з'єднані за допомогою пружних торсіонів 3. Зовнішня рамка з'єднана з нерухомою опорою за допомогою аналогічних пружних торсіонів 4. Зовнішня рамка та внутрішня коливальна система електрично з'єднані між собою та підключені до нульової шини. Внутрішня коливальна система може здійснювати змушені коливання відносно осі X під впливом генератора гармонійних коливань 5 і системи обкладин 6, які разом із внутрішньою коливальною системою утворюють плоский конденсатор. У випадку обертання системи навколо осі Z зовнішня рамка буде здійснювати коливання відносно осі Y , амплітуда яких є функцією кутової швидкості Ω та частоти коливань внутрішньої коливальної системи. Інформація про кутову швидкість знімається за допомогою обкладин 7 (що утворюють із зовнішньою рамкою плоский конденсатор) і пристрою обробки інформації 8.

Приклад технічних характеристик гіроскопа:

- | | |
|-------------------------------------|-------|
| – габарити коливальної системи, мм | 5-10; |
| – точність вготівлення деталей, мкм | 1-2; |
| – довжина торсіона, мкм | 50; |
| – висота рамок, мкм | 50; |

- дрейф гіроскопа, угл. град/год <1;
 - максимальна вимірювана кутова швидкість, 200;
 - угл. град/с
 - похибка вимірювань кутової швидкості, % 0,05.
- Конструкція МГКТ і її конструктивні елементи представлені на рис. 6.4.

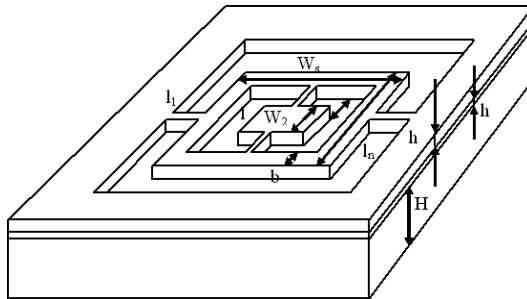


Рис. 6.4 – Конструкція МГКТ [27]

- l_1 – довжина внутрішньої рамки; W_b – ширина внутрішньої рамки;
- l_3 – довжина зовнішньої рамки; W_s – ширина зовнішньої рамки;
- h – товщина SiO_2 ; H – товщина базової підкладки; b – товщина;
- l_2 – довжина торсіона

6.1. Гіроскоп з вібруючим кільцем

Гіроскопам з вібруючим кільцем в останні роки приділяється досить багато уваги через можливість широкого застосування цих мініатюрних пристроїв для різних цілей. Вони можуть використовуватися разом з МЕМС-акселерометрами для одержання інформації керування в інерційній навігації або самостійно для вимірювання параметрів обертання, наприклад, у системах контролю та стабілізації траєкторії, виявлення перенавантажень. До побутових застосувань можна віднести стабілізацію кадру в цифрових відеокамерах і інерційних «мишах» комп'ютерів, у роботах. Існують великі області використання у військових застосуваннях, таких як супровід

космічних апаратів і стабілізація платформ, пристроїв вимірювання крену в автоматичних пристроях з роздільною здатністю та стабільністю на рівні 0,5 град/с. Однак у багатьох застосуваннях потрібні більш досконалі гіроскопи, наприклад, інерційна навігація та супровід космічних апаратів. Досягнення довгострокової стабільності кращої за 1-10 град/год і більш високої точності в широкому діапазоні частот (0-100 Гц) вимагає використання нових технологій для створення гіроскопів, зокрема технологій МЕМС.

Гіроскоп з віброючим кільцем представлений на рис. 6.5.

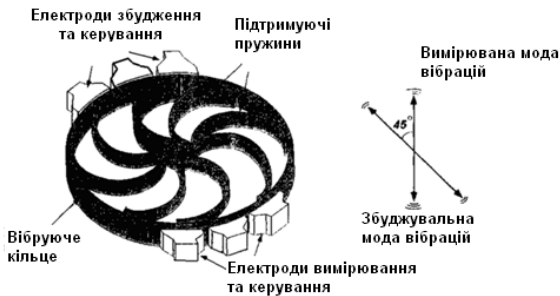


Рис. 6.5 – Структура гіроскопа з віброючим кільцем [27]

Він складається з кільця, восьми підтримуючих пружин у вигляді півкіл і електродів збудження, вимірювання та керування. Міркування симетрії вимагають використання, принаймні, восьми підтримуючих у збалансованому пристрої із двома модами коливань однакової частоти ідентичної еліптичної форми, зсунутих одна відносно іншої на 45°. Як показано на рис. 6.5, антивузли другої коливальної моди (тобто напрямках, у яких амплітуда коливань найбільша) розміщені у вузлах коливань першої моди. У кільці електростатично збуджуються коливання першої моди з фіксованою амплітудою. Якщо пристрій повертається навколо перпендикулярної осі, сила Кориоліса викликає передачу енергії від першої моди коливань до другої, розташованої під кутом 45° від першої, викликаючи

коливання, амплітуда яких пропорційна до другої моди (рис. 6.6). Ця структура керується за допомогою ємнісного способу. Амплітуда другої моди при розімкнутій петлі (розімкнутому контурі) вимірюваної моди ($q_{вим}$) пропорційна до кутової швидкості та визначається виразом:

$$q_{вим} = 4A_g \frac{Q}{\omega_0} q_{зб} \Omega_z, \quad (5.3)$$

де $A_q \approx 0,37$ – кутовий коефіцієнт кільцевої структури (який залежить від геометрії датчика), коефіцієнт дуже стабільний у відношенні температури та часу життя пристрою;

Q – добротність механічної структури;

ω_0 – резонансна кругова частота коливань;

$q_{зб}$ – амплітуда коливань збуджуваної моди;

Ω_z – частота обертання.

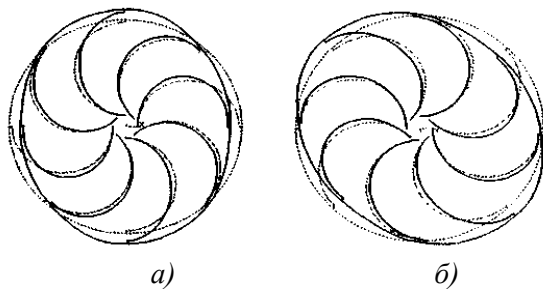


Рис. 6.6 – Моди коливань згину, що використовуються для функціонування гіроскопа з вібруючим кільцем [27]
 а – перша мода; б – друга мода, зсунута на 45° відносно першої, з однаковими резонансними частотами

Вібруюче кільце має низку важливих властивостей у порівнянні з іншими типами вібраційних гороскопів. Перше, це

збалансована симетрична структура, що забезпечує меншу чутливість до випадкових зовнішніх коливань. Тільки якщо кільце має асиметрію маси або жорсткості, зовнішні коливання наводять помилкові коливання системи. Друге, оскільки використовуються ідентичні коливальні структури з рівними резонансними частотами для порушення та виявлення обертання, чутливість датчика збільшується в Q раз. По-третє, вібруюче кільце менш чутливе до температури, тому що обидві моди коливань підпадають під дію однієї й тієї ж температури. Нарешті, є можливим електронне підстроювання в конструкції. Будь-які розбіжності резонансних частот збудження та вимірювань, викликаних процесами виробництва (розходженням мас або асиметрії жорсткостей), можуть бути скомпенсовані електрично за допомогою використання підстроювальних електродів, які розташовані навколо кільця під різними кутами до збуджувальних електродів.

Гіроскоп може бути виготовлений за допомогою різних методів:

- у товстому шарі фоторезистора ПММА з нікелевими провідними компонентами, розміщеними на кремнієвій підкладці;

- за допомогою реактивно-іонного травлення монокремнієвої підкладки з коливальною системою в ній і зміцнення структури шляхом анодного зварювання зі скляною підтримуючою підкладкою (ф. British Aerospace Systems and Equipment), що забезпечує високу добротність коливальної системи, але має анізотропію модуля Юнга, що властиво для монокремнію, асиметрію механічних властивостей кільця (модуль Юнга для кремнію змінюється залежно від кристалографічної орієнтації пропорційно « $\cos 4\theta$ »);

- з використанням HARPSS MEMS технологій.

Відповідно до цієї технології вібруюче кільце та підтримуючі пружини створені додатковим шаром полікремнію, нанесеного на жертвний шар оксиду кремнію, який отриманий за методом LPCVD (лазерного стимульованого осадження з газової фази).

Кожен із чутливих електродів з острівця монокристалічного кремнію з низьким опором, що захищений з боків глибокими заповненими пазами та від'єднаними на дні від підкладки за допомогою сухого травлення SF_6 , що повністю виконане під час глибокого реактивно-іонного травлення (DRIE). Острівці монокристалічного кремнію повністю закріплені на підтримуючому шарі полікремнію, що прикріплений через нітридний шар до підкладки. Полікремнієве кільце закріплене віссю на підкладці та підтримується за допомогою пружин, розташованих над порожниною, отриманою під час травлення кремнієвої підкладки за допомогою SF_6 , у процесі DRIE.

На рис. 6.7 наведена фотографія полікремнієвого кільцевого гіроскопа з розмірами $1,7 \times 1,7$ мм², отримана за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Кільце діаметром 1,1 мм, діаметр опори (осі) 120 мкм. Ширина кільця та підтримуючих пружин дорівнює 4 мкм. Шістнадцять електродів розташовані навколо кільця; їхні розміри приблизно 60 мкм за висотою та 150 мкм за довжиною та відділені від кільця ємнісним повітряним проміжком 1,4 мкм.

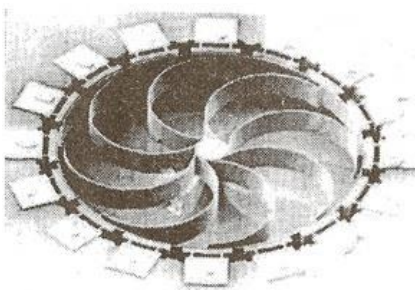


Рис. 6.7 – Гіроскоп з вібруючим кільцем [27]

Технологія забезпечує декілька важливих характеристик, що необхідні для МЕМС гіроскопів високої якості. По-перше, вона дозволяє одержати полікремнієве кільце та електроди, що

його оточують, товщиною в сотні мкм у процесі DRIE. По-друге, оскільки проміжок між кільцем і вимірювальним електродом визначається за товщиною жертвовного шару, він може бути зменшений до субмікронного рівня. Ці два фактори разом будуть істотно збільшувати ємність зв'язку, а отже й вихідний сигнал.

По-третє, конструкційним матеріалом є полікремній, що має високу добротність і незалежний від орієнтації модуль Юнга.

По-четверте, повністю кремнієва технологія поліпшує довгострокову стабільність і температурну чутливість. Ці риси дозволяють поліпшити характеристики гіроскопів з віброуючим кільцем до таких значень:

- висота монокремнієвих електродів, мкм	60;
- ємнісні проміжки, мкм	1,4;
- чутливість із розімкнутою петлею ОЗ, $\frac{мкВ}{град / с}$	200;
- динамічний діапазон, град/с	250;
- Q	1200
- амплітуда збуджуваних коливань, мкм	0,15;
- паразитна ємність вузлів коливань, кФ	2;
- роздільна здатність град/с(Гц) ^{0,5}	0,01.

6.2. Одновісний МЕМС-датчик кутової швидкості (гіроскоп) з віброуючим кремнієвим кільцем

Даний кремнієвий цифровий гіроскоп розроблений з урахуванням вимог до низької вартості виробу і економічному енергоспоживанню для систем навігації, і наведення нового покоління. Він здатний вимірювати кутову швидкість до $\pm 1,0 \text{ } \epsilon / \text{с}$ і має два режими виведення: аналоговий сигнал напруги, лінійно-пропорційний кутовий швидкості, і цифровий по протоколу SPI®.

Перемикається між – аналоговий або цифровий – вибирається користувачем при підключенні датчика до будь-якої системної плати. Головною відмінною рисою гіроскопа є застосування технології збалансованого віброуючого кільця в якості датчика кутової швидкості. Саме вона забезпечує надійну роботу і точне вимірювання швидкості обертання навіть в умовах сильної вібрації.

Можливі дві основні конфігурації гіроскопа, одна з них дозволяє датчику вимірювати кутову швидкість по осі, перпендикулярній до площини системної плати, інша дає можливість визначати кутову швидкість по осі, паралельній площині материнської плати. Поєднання в одному пристрої гіроскопів обох конфігурацій дозволяє отримати інерційну систему, що вимірює кутову швидкість по декількох осях (будь-які поєднання тангажу, крену і ристання літального апарату). Розміри датчиків обох конфігурацій і осі вимірювання кутової швидкості наведені на рис. 6.8.

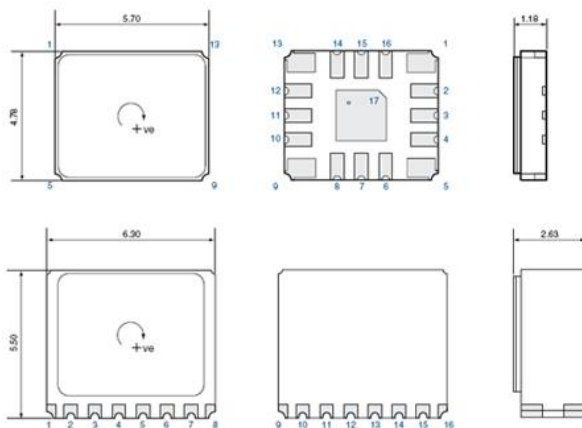


Рис. 6.8 – Розміри датчиків обох конфігурацій і осі вимірювання кутової швидкості

Як правило, подібні гіроскопи (рис. 6.9) випускаються в герметичних керамічних LCC корпусах які можна

встановлювати на системні плати. Датчик складається з п'яти основних компонентів:

- кремнієвий кільцевої МЕМС-сенсор (MEMS-ring),
- підстава з кремнію (Pedestal),
- інтегральна мікросхема гіроскопа (ASIC),
- корпус (Package Base),
- кришка (Lid).

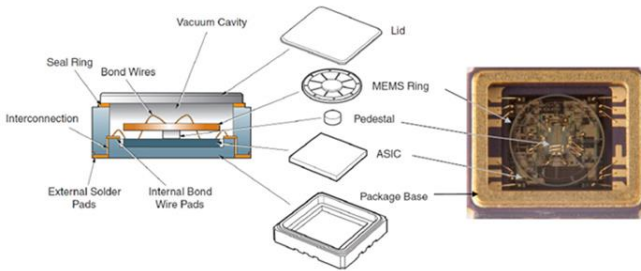


Рис. 6.9 – Гіроскоп з вібруючим кремнієвим кільцем

Кремнієвий кільцевої МЕМС-сенсор, мікросхема і кремнієве підставу розміщені в герметичній частині корпусу з ва-куумом, частково заповненим азотом. Це дає серйозні переваги перед сенсорами, які поставляються в пластикових корпусах, які мають певні обмеження чутливості в залежності від рівня вологості.

6.3. Кремнієвий кільцевий МЕМС-сенсор

Діаметр кремнієвого МЕМС-кільця дорівнює 3 мм., Товщина – 65 мкм. Його виготовляють методом глибокого реактивного іонного травлення об'ємних кремнієвих структур на 5 «пластинах». Кільце підтримується у вільному просторі вісьмома парами симетричних спиць, які виходять з твердого концентратора діаметром 1 мм. в центрі кільця.

Процес об'ємного травлення кремнію і унікальна технологія виготовлення кільця дозволяють отримати хороші геометричні властивості, необхідні для точного балансу і термічної стабільності сенсорного кільця. На відміну від інших гіроскопів тут немає дрібних розбіжностей, що створюють проблеми з інтерференцією і тертям. Зазначені особливості істотно визначають стабільність датчика при коливаннях температури, вібрації або ударі. Ще однією перевагою подібної конструкції є її «вроджений» імунітет до помилок, які датчики можуть видавати під впливом прискорення, або «g - чутливості».

Плівкові приводи та перетворювачі прикріплені до верхньої поверхні кремнієвого кільця по периметру і для отримання електроенергії підключені до сполучною контактам в центрі концентратора через треки на спицях. Це активує або «заводить» периметр кільця в робочий режим вібрації на рівні $\text{Cos}2i$ з частотою 22 кГц, визначаючи радіальне переміщення, яке може здійснюватися через первинного руху приводу або за рахунок дії коріолісової сили, коли гіроскоп обертається щодо його осі чутливості. Існує одна пара приводів первинного руху, одна пара первинних знімають перетворювачів і дві пари вторинних знімають перетворювачів.

Комбінація сенсорної технології і восьми вторинних знімають перетворювачів покращує в датчику співвідношення «сигнал / шум», що дозволяє отримувати малошумні пристрої з відмінними властивостями по кутовому випадковому дрейфу гіроскопа, які є ключовими для застосування в сферах інерціальної навігації (наприклад, стабільність наведення камери або антени) . Описану схему можна порівняти з камертоном структурою, що містить нескінченну кількість камертонів, інтегрованих в єдину балансує віброуючу кільцеву конструкцію. Це забезпечує найбільш високу стабільність вимірювання кутової швидкості за часом, температурою, вібраціям і ударами для МЕМС-гіроскопів даного класу.

Концентратор в центрі кільця сенсора встановлений на циліндричній кремнієвому підставі діаметром 1 мм., Яке

пов'язане з кільцем і ASIC за допомогою епоксидної смоли. Мікросхема гіроскопа має габарити 3x3 мм і виготовлена за технологією 0,35 мкм КМОП. ASIC і MEMS-сенсор (кільце) розділені фізично, але з'єднані електричним колом через золоті проводки. У зв'язку з цим в подібній схемі відсутні внутрішні канали, що дозволяє зменшити шумове навантаження та отримати відмінні електромагнітні властивості.

Керамічний корпус датчика виготовлений за технологією LCC і вдає із себе багат шарову оксидно-алюмінієву конструкцію з внутрішніми контактними майданчиками для розварювання, з'єднаними через корпус із зовнішніми контактними майданчиками за допомогою багат шарових вольфрамових між'єднань межсоединений. Аналогічні інтегральні між'єднання є в кришці гіроскопа, що забезпечує розміщення чутливого елемента датчика всередині щита Фарадея і хороші електромагнітні показники гіроскопа. При цьому внутрішні і зовнішні контактні площадки покриті гальванічним шляхом шаром нікелю і золота.

Корпус включає в себе кільце ущільнювача, на верхній частині якого шовного зварюванням приварена металева кришка. Сварка проведена електродом опору, що створює повну герметичність конструкції. На відміну від більшості MEMS-корпусів, доступних сьогодні на ринку, при виготовленні корпусу даного пристрою використовується спеціально розроблена шовна зварювання, при якій виключена можливість утворення грудочок (бризок) зварювання всередині гіроскопа. При вико-ристанні інших технологій зварювання зварювальні бризки можуть потрапляти на нижні конструкції і негативно впливати на надійність гіроскопа за рахунок впливу на вібруючий MEMS-елемент, особливо в тих місцях, де конструкції мають невеликі зазори. У корпусі також є вбудований датчик температури для забезпечення зовнішньої термокомпенсації.

6.4. Принцип дії системи гіроскопа

Описувані гіроскопи зазвичай є твердотільними пристроями і не мають рухомих частин за винятком сенсорного кільця, яке має можливість відхилитися. Воно показує величину і напрямок кутової швидкості за рахунок використання ефекту «сили Кориоліса». Під час обертання гіроскопа сили Кориоліса діють на кремнієве кільце, будучи причиною радіального руху по периметру кільця.

По периметру кільця рівномірно розташовані вісім приводів / перетворювачів. При цьому є одна пара приводів «первинного руху» і одна пара первинних знімають перетворювачів, розташованих щодо їх головних осей (0° і 90°). Дві пари вторинних переключаючих перетворювачів розташовані щодо їх вторинних осей (45° і 135°). Приводи первинного руху і первинні переключають перетворювачі діють разом в замкнутій системі, щоб порушувати і контролювати первинну робочу амплітуду вібрації і частоти (22 кГц).

Вторинні знімають перетворювачі розпізнають радіальне рух на вторинних осях, величина якого пропорційна кутовий швидкості обертання, завдяки якій гіроскоп знаходить кутову швидкість. Перетворювачі виробляють двосмуговий стислий передає сигнал, демодулюються назад в смуги, ширина яких контролюється користувачем одним простим зовнішнім конденсатором. Це дає користувачеві можливість повністю контролювати продуктивність системи і робить перетворення абсолютно незалежним від постійної напруги або низькочастотних параметричних умов електроніки.

На рис. 6.10 продемонстрована структура кремнієвого кільця сенсора, що показує приводи первинного руху «PD» (одна пара), первинні знімають перетворювачі «PPO» (одна пара) і вторинні знімають перетворювачі «SPO» (дві пари).

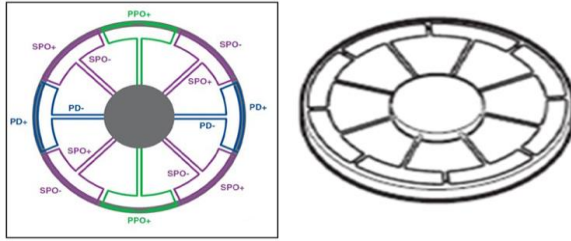


Рис. 6.10 – Структура кремнієвого кільця сенсора

На рисунку 6.11 схематично показано кільце, при цьому спиці, приводи та перетворювачі видалені для ясності. В даному випадку гіроскоп вимкнений, кільце кругле.

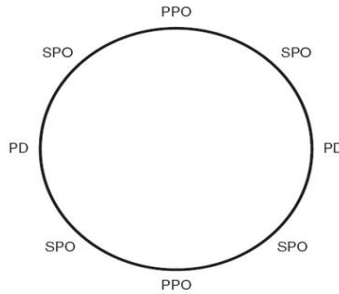


Рис. 6.11 – Кільце

У момент, коли датчик знаходиться у вимкненому стані, в кільці збуджується рух уздовж його основних осей за рахунок приводів первинного руху і первинних знімають перетворювачів, впливаючи в замкнутому контурі на систему контролю ASIC. Кругле кільце приймає в режимі Cos2і еліптичну форму і вібує з частотою 22 кГц. Це показано на рис. 6.12, на якому гіроскоп вже включений, але ще не обертається. На чотирьох вторинних знімають вузлах розташованих на периметрі кільця під кутом 45 по відношенню до основних осях немає радіального руху.

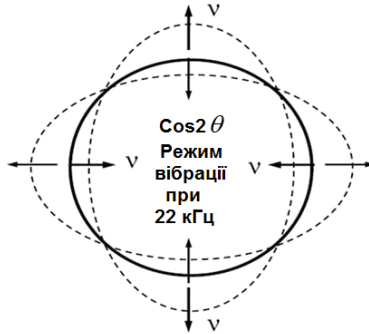


Рис. 6.12 – Гіроскоп вже включений, але ще не обертається

Якщо гіроскоп піддається впливу кутової швидкості, то на кільце діють сили Кориоліса: по дотичній до периметру кільця щодо головних осей. Ці сили деформують кільце, що викликає радіальний рух вторинних знімають перетворювачів. Даний рух, яке визначається на вторинних знімають перетворювачах, пропорційно додається кутової швидкості. При цьому двосмуговий стислий передає сигнал демодулюються з урахуванням основного руху. У підсумку виходить низькочастотний компонент, який пропорційний кутовий швидкості.

Схема управління всім гіроскопом розташована в ASIC (рис. 6.13 – 6.14).

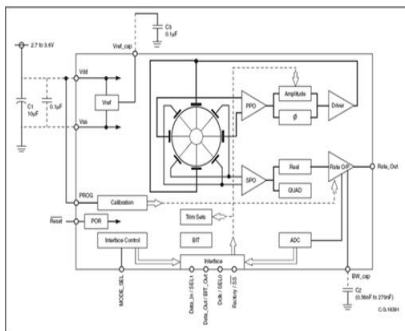


Рис. 6.13 – Блокова діаграма

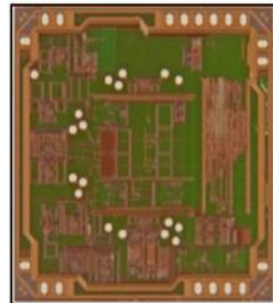


Рис. 6.14 – Зовнішній вигляд

Подібні датчики мають мініатюрними габаритами (6,5x1,2 мм) при наднизькому споживанні енергії (12 мВт). Для них характерний широкий діапазон виміру (до 900 градусів / сек), надмалих вага 0,08 грам і висока стабільність роботи.

Гіроскопи подібної конструкції можна з успіхом застосовувати для вимірювання швидкостей обертання об'єкта по трьох осях в транспортних і персональних навігаторах для визначення та збереження параметрів руху визначити своє місцезнаходження; в системах відстеження по трасі на сільськогосподарській техніці для стабілізації антен; в промисловій апаратурі, робототехніці та інших сферах. Використання даних датчиків кутової швидкості на літальних апаратах дозволяє на порядок зменшити габарити, вага, енергоспоживання приладів і в результаті значно знизити ціну навігаційної системи в цілому. Надійність і точність в управлінні широкого спектра літаків, вертольотів і інших літальних апаратів при цьому збільшується. Таким чином, даний вид гіроскопів оптимально підходить для використання в ситуації, коли є обмеження по габаритах, вагою та вартістю виробу.

6.5. Оптоволоконний гіроскоп

Принцип дії гіроскопа заснований на ефекті санька (рис. 6.16), що полягає в тому, що в нерухомому замкнутому оптичному контурі час проходження променів, що поширюються в протилежних напрямках, однаковий, а при обертанні контуру відносно осі, перпендикулярної до його площини, різниця часу проходження протилежно спрямованими променями прямо пропорційна до кутової швидкості Ω .

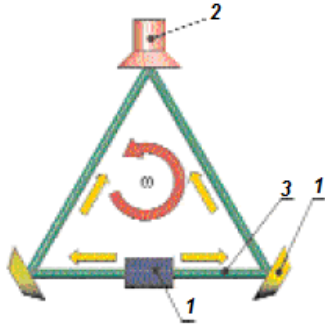


Рис. 6.16 – Ілюстрація принципів роботи оптоволоконного гіроскопу

1 – двонаправлене лазерне джерело світла; 2 – детектор; 3 – двонаправлений (направлений в протилежному напрямку) лазерний промінь; 4- дзеркала

Ця різниця визначається різною довжиною шляху, що викликана зсувом вихідної точки падаючого променя А в напрямку поширення променя 1 і в протилежному напрямку для променя 2 (рис. 6.17).

Імпульс світла надходить до точки А та розщеплюється за допомогою напівпрозорої лінзи Z_1 і дзеркала Z_2 на два промені, що поширюються в

протилежних напрямках вздовж оптоволоконного кільця. За допомогою цієї ж оптичної системи промені, що пройшли вздовж кільця, складаються та надходять на вихід. Вимірювання Δ_τ дозволяє розрахувати кутову швидкість.

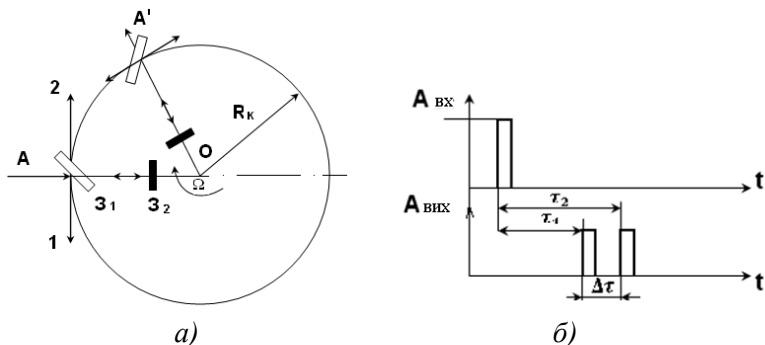


Рис. 6.17 – Проходження імпульсу світла при обертанні гіроскопа [27]
 а – схема проходження променів 1 і 2; б – час проходження променів 1 і 2

У разі нерухомого контуру довжина шляху 1-го та 2 променів однакова, однаковий і час проходження їх вздовж кільця:

$$c\tau = 2\pi R_K.$$

При обертанні контуру шлях одного із променів подовжується, а іншого скорочується:

$$c\tau_1 = 2\pi R_K - R_K\Omega\tau_1.$$

Для малих швидкостей $\Omega\tau_1 \ll c$:

$$\Delta\tau = \frac{2\pi R_K^2\Omega}{c^2}.$$

Контрольні питання:

1. Галузь застосування гіроскопів.
2. Які типи гіроскопічних датчиків застосовуються у техніці вимірювання переміщень і швидкостей переміщень?
3. Які параметри вибору електромеханічних гіроскопів?
4. Які існують типи гіроскопів?
5. Наведіть структуру гіроскопа з вібруючим кільцем.
6. За допомогою яких методів може бути виготовлений оптоволоконний гіроскоп?
7. На якому ефекті заснований принцип дії гіроскопа?
8. Що зазвичай служить чутливим елементом електромеханічних гіроскопів?
9. Що використовують у якості конструкційного матеріалу МЕМС гіроскопів високої якості?
10. Наведіть низку важливих властивостей вібруючого кільця у порівнянні з іншими типами вібраційних гіроскопів?

7. АКСЕЛЕРОМЕТР

Акселерометр – пристрій для вимірювання прискорення, що виникає при русі об'єктів. Акселерометр визначає прискорення в системі координат гравітаційного поля. Широко застосовуються в різних рухомих об'єктах: транспортних, космічних, промислових, дослідних і ін.

Термін «акселерометр» утворився від двох слів: латинського *accelero* – «прискорюю» і грецького *metrēō* – «вимірюю» [28]. Його ще називають G-сенсором. Наявність цього інерційного датчика в планшеті чи смартфоні є важливою, оскільки доз-воляє виміряти прискорення одночасно в декількох площинах (уздовж осей X, Y, Z). Це допомагає визначити положення пристрою в просторі, встановлюючи кут його нахилу відносно поверхні Землі. Завдяки акселерометру гаджет реагує на пере-вертання: альбомна орієнтація перетворюється на книжкову і навпаки. Крім того, пристрій реагує на струшування або удар.

Конструктивно, акселерометри є вагами – фіксований вантаж змінює свою вагу під впливом прискорень, і датчик переводить цю вагу в величину прискорення. Зараз акселерометри крім великих і дорогих версій (рис. 7.1) мають MEMS-аналоги (рис. 7.2)

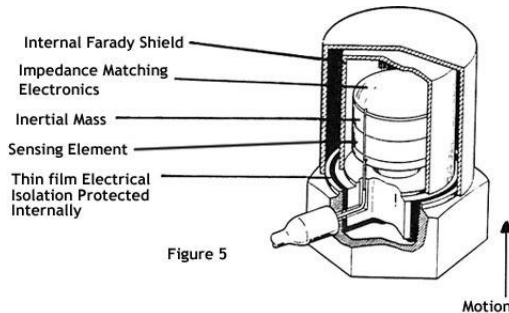


Рис. 7.1 – Приклад «великого» акселерометра

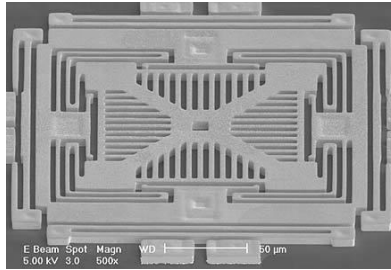


Рис. 7.2 – Мікрофотографія MEMS-акселерометра

Класифікація акселерометрів:

1. За типом руху (поступальний, обертальний).
2. За принципом дії (механічний, механоелектричний, п'єзоелектричний, молекулярно-електронний).
3. За способом вимірювання (безперервний, пороговий).
4. За кількістю осей (компонентів) знімання інформації (одно-, дво-трикоординатні (компонентні)).
5. По виду вихідного сигналу (аналоговий, цифровий).
6. За діапазону вимірювань (низькочастотні, середньо-частотні, високочастотні).
7. За кількістю додаткових функцій (вимірювання кута відхилення від вертикалі, вимірювання статичного прискорення (гравітації), вимірювання кутової швидкості обертання, вимір частоти вібрацій і сили ударів).
8. За виконанням (монокорпусні, одноплатні, багатокорпусні).

В електромеханічному акселерометрі маятникового або пружинного типу рухлива маса m , у тому числі і що є невід'ємним елементом конструкції, відхиляється від положення рівноваги, створеного силою ваги або пружиною. Це відхилення вимірюється датчиком переміщення деякої точки, жорстко пов'язаної з масою, на величину X , і вводиться в систему управління рухом. Перетворювачем переміщення може бути будь датчик переміщень, розглянутий вище.

У п'єзоелектричному акселерометрі вихідна електрична напруга виникає при механічному стискуванні п'єзоелемента під дією сил інерції. При цьому роль пружного стрижня або пружини грають самі п'єзоелементи з високими показниками пружнос-ті і механічної міцності, наприклад, п'єзокерамічні пластини.

П'єзоелектричні акселерометри призначені для вимірювання параметрів вібрації в широких діапазонах частот, амплітуд, температур. У молекулярно-електронних акселерометрах відбувається перетворення механічних коливань в електричний сигнал на основі електрокінетичного ефекту. Акселерометр являє собою заповнений робочою рідиною корпус, усередині якого розташовані пориста перетворююча діафрагма з струмознімачами – електродами і пружний елемент – сильфон з укріпленою на ньому інерційною масою. При впливі на акселерометр механічних коливань відбувається стиснення або розтягнення сильфона, а через перетворюючу діафрагму відбувається витікання робочої рідини, що приводить до появи на електродах заряду, пропорційного прискоренню.

У мікромеханічних датчиках рухома механічна частина приводиться в високочастотні коливання за допомогою електростатичного приводу гребенчатого виду. Управління електростатичним приводом здійснюється генератором, що працює в автоматичному режимі. Для знімання інформації у вигляді нап-ружень, пропорційних проекція абсолютної кутовий швидкості і лінійного прискорення, використовується ємнісний датчик, утворений елементами конструкції рухомої і нерухомої механічної частини. Управління, знімання і попередня обробка корисного сигналу будь-якого мікромеханічного датчика виробляються за допомогою інтегральних схем.

Все більше розповсюдження одержують інтелектуальні сенсори в МЕМС-виконанні, що забезпечують і вимірювання, і перетворення сигналів пропорційних до прискорення. Масове виробництво акселерометрів підвищення надійності, швидкодії систем безпеки, зменшення вартості датчика системи приблизно

на два порядки, ГМХ на 2...3 порядки. Ці акселерометри були одним з перших комерційних МЕМС-виробів, що дали значні кошти для робіт в області МСТ.

Зараз це широко розповсюджені інтелектуальні сенсори, реалізовані на одній підкладці, або акселерометри, якими вимірюють швидкість гальмування при зіткненні з перешкодою. Значення прискорення перетворюється в напругу, що керує запуском тригера, який формує імпульс електричного струму через нагрівальну спіраль, розміщену в капсулі з азидом натрію (NaN_3). Миттєве нагрівання призводить до вибухоподібного розкладання вмісту капсули відповідно до реакції $2NaN_3 \rightarrow 2Na + 3N_2$. Газоподібний азот, що виділяється при цьому, надуває подушку безпеки. Пристрої вагою більше кілограма, що коштували раніше сотні доларів, в МЕМС-виконанні за розмірами стали меншими ніж 1 см, їхня вартість знизилася до декількох доларів.

МЕМС акселерометри призначені для вимірювання лінійних прискорень і є масово вироблюваними інерційними перетворювачами фізичних величин і компонентами датчиків.

В основу роботи акселерометрів можуть бути покладені різні фізичні ефекти: ємнісний, п'єзрезистивний, п'єзо- та сегнетоелектричний, електромагнітний, оптичний, тунельний. Акселерометр, по суті, є ємнісним або п'єзоелектричним пристроєм, що складається з підвішеної маси жорстких пластин і набору пластин, жорстко закріплених на платі. Прискорення діє на підвішену масу пластин, змінюючи ємність між ними та пластинами, жорстко закріпленими на платі (рис. 7.3). Зміна ємності залежить від прискорення, що визначає зсув підпружинених пластин.

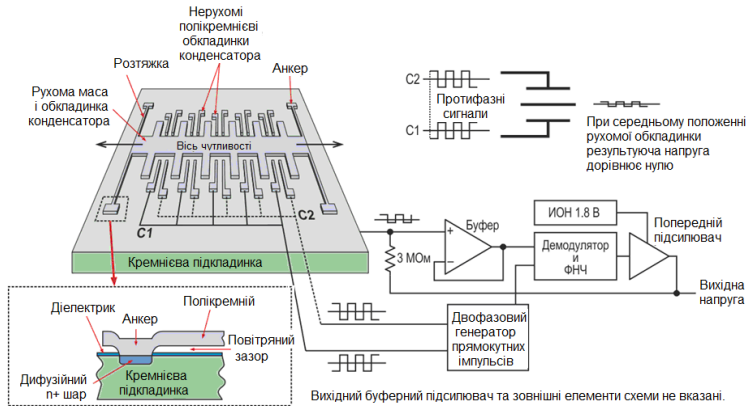


Рис. 7.3 – Принцип будови акселерометру

Акселерометри також знайшли застосування для виявлення землетрусів, у відеоіграх віртуальної реальності, джойстиках, крокомірах, високоякісних приводах дисків, системах озброєння та ін., для вимірювання вузлів нахилу, сил інерції, ударних навантажень і вібрацій. Одним з перспективних застосувань вважаються датчики тиску шин автомобілів із пристроями дистанційного вимірювання. Вони знаходять широке застосування не тільки на транспорті, але й у медицині, у промислових системах вимірювань і керування, в інерційних системах навігації, системах озброєння, для виявлення землетрусів. Акселерометри починають використовуватися в моніторах верстатів і механізмів, роботах, діагностичних системах, у тих місцях, де необхідно вимірювати прискорення, удари, вібрації.

Промисловість випускає багато видів акселерометрів, з різними принципами дії, на різні діапазони прискорення, габаритно-масових показників і цін. Провідними виробниками акселерометрів є фірми Analog Devices, Motorola, Sensor Nor, Nirpendenco, SNL.

Акселерометр розміщений на одному кристалі й забезпечує вимір прискорень у діапазоні $\pm 50g$ (статичних і

динамічних у діапазоні до 1 кГц). Забезпечено температурну компенсацію, формування опорної напруги й самоконтроль датчика.

Весь кристал акселерометра розміром 3,05×3,05 мм зайнятий головним чином схемами формування сигналу, які оточують мініатюрний ЧЕ датчика розміром 1×1 мм, розташований у його центрі. ЧЕ являє собою диференціальну структуру з можливим діелектриком, обкладки якого витравлені в полікремнієвій плівці товщиною 2 мкм. Нерухомі обкладки цього конденсатора являють собою прості консольні стрижні, розташовані на висоті 1 мкм від поверхні кристала на полікремнієвих опорах – анкерах, приварених до кристала на молекулярному рівні.

Фактично датчик має 54 пар елементів, аналогічних до тих, що наведені на рисунку. Інерційна маса датчика при зміні швидкості переміщення кристала зміщується відносно корпусу кристала. Система штирів утворює рухому обкладину конденсатора змінної ємності. З кожного кінця ця структура опирається на анкери, аналогічні за конструкцією до тримачів нерухомих обкладин. Розтяжки по кінцях інерційної маси, які втримують її у висячому положенні, є пружинами постійної пружності, що обмежують переміщення та повернення рухомої маси у вихідне положення. Таким чином, сила інерції врівноважується силою пружності пружини [27]:

$$ma = kx, \quad (7.1)$$

де m – маса;

a – прискорення;

k – жорсткість пружини;

x – зсув маси відносно вихідного стану.

Звідси:

$$a = \frac{k}{m} x, \quad (7.2)$$

причому k/m – конструктивний параметр датчика.

Акселерометри можуть виготовлятися методами поверхневої або об'ємної обробки.

Датчики прискорення, реалізовані на дискретних об'ємних мікроконденсаторах, одержали широке розповсюдження завдяки малим габаритно-масовим характеристикам, енергоспоживанню та вартості, високій надійності, стабільності параметрів, масовості виробництва. На рис. 7.4 наведений ЧЕ МЕМС-акселерометр фірми Draper Laboratory (США) у вигляді зустрічно-пластинчастої структури. Монокристалічні гребінки з високою площинністю елементів забезпечують високу точність перетворення в широкому діапазоні прискорень (до 100g). Під час виготовлення датчика застосоване прецизійне об'ємне травлення підкладки після формування в ній шарів сильно легованих бором. Ці шари (стоп-шар) забезпечують зупинку процесу травлення та одержання площинок під металізацію.

Методи поверхневої обробки передбачають осадження тонких п'єзореzystивних плівок на підкладку з таким витравлюванням необхідного малюнка рухомої діафрагми. Проміжок між діафрагмою та поверхнею пластини та, отже, ємність утвореного ними конденсатора залежать від прискорення. Перевагою таких приладів є гнучкість конструкції, можливість побудови датчика прискорення за трьома осями і формування схеми зчитування на одному з ним кристалі. Така технологія названа integrated MEMS (iMEMS).

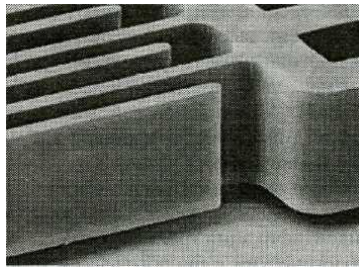


Рисунок 7.4 – Ємнісний ЧЕ акселерометра [27]

Як приклад розглянемо акселерометри, виготовлені за поверхневою технологією iMEMS, одно- та двокоординатні акселерометри ф. Analog Devise (США) – ADXL 103/ ADXL 203:

– розмір керамічного безвивідного корпусу LCC, мм – 5×5×2

– напруга живлення, В – 5-3

– споживаний струм, мА – 0,7

– діапазон вимірюваних прискорень, $g \pm 1,7$

– роздільна здатність за кутом, градус – 0,1

– витримуване прискорення, g – 3500

– наробіток на відмову, год – 10^9

– структурна схема акселерометрів наведена на рис. 7.5.

Обидва акселерометри містять полікремнієвий сенсор, отриманий поверхневою обробкою полікремнієвої структури на кремнієвій підкладці (над видаленим шаром SiO_2).

Полікремнієві пружини підтримують штирі рухомого електрода конденсатора та створюють пружну протидію силі прискорення (інерції). Зсув рухомої обкладини диференціального конденсатора відносно двох незалежних нерухомих обкладин, на які подається напруга живлення, зрушена по фазі на 180° . Прискорення відхиляє рухомий електрод, розбалансуючи диференціальний конденсатор, у результаті чого виходить вихідна напруга прямокутної форми, амплітуда якої пропорційна до прискорення. Фазочутливий демодулятор випрямляє сигнал для визначення напрямку прискорення. Вихідна напруга демодулятора підсилюється та подається на навантагу через резистор 32 кОм. На виході користувач встановлює начіпний конденсатор, що визначає ширину смуги пропускання датчика. Така фільтрація поліпшує роздільну здатність і запобігає помилковим спрацьовуванням від перешкод.

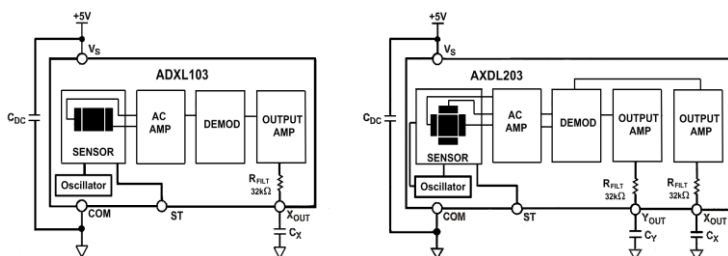


Рис. 7.5 – Блок-схема акселерометрів ADXL 103/ ADXL 203 [27]

Залежність вихідної постійної напруги від кута нахилу площини, на якій встановлено датчик, відносно горизонтального напрямку чутливої осі наведена на рис. 7.6, а зовнішній вигляд корпусу акселерометра – на рис. 7.7. Рисунок 7.6 показує, що залежність $U_{вих} = U(\psi)$ нелінійна, нагадує синусоїду. Чутливість акселерометра найбільша поблизу горизонтального положення датчика, мінімальна – за кутів $\pm 90^\circ$.

Розроблено датчики із чутливістю за однією (перша цифра в позначенні), двома та трьома осями.

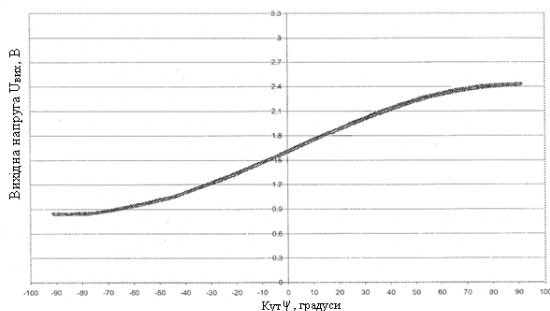
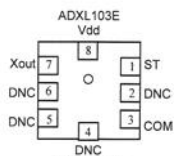
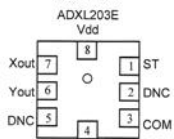


Рис. 7.6 – Залежність вихідної напруги від кута нахилу датчика [27]



Bottom view



Bottom view

ADXL103 PIN DESCRIPTION

Pin	Name	Description
1	ST	Self Test
2	DNC	Do not connect
3	COM	Common
4	DNC	Do not connect
5	DNC	Do not connect
6	DNC	Do not connect
7	X _{OUT}	X channel output
8	V _{DD}	+5V

ADXL203 PIN DESCRIPTION

Pin	Name	Description
1	ST	Self Test
2	DNC	Do not connect
3	COM	Common
4	DNC	Do not connect
5	DNC	Do not connect
6	Y _{OUT}	Y channel output
7	X _{OUT}	X channel output
8	V _{DD}	+5V

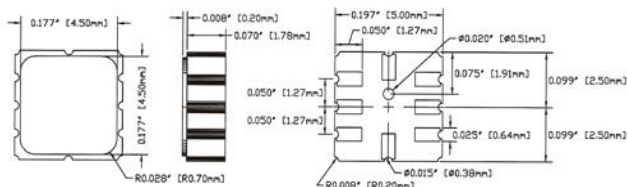


Рис. 7.7 – Зовнішній вигляд корпусу акселерометра [27]

Контрольні питання:

1. Які фізичні ефекти покладені в основу роботи акселерометрів?
2. Які галузі застосування акселерометрів Ви знаєте?
3. Наведіть класифікацію акселерометрів за типом руху
4. Наведіть класифікацію акселерометрів за принципом дії.
5. Наведіть класифікацію акселерометрів за способом вимірювання.
6. Наведіть класифікацію акселерометрів за кількістю компонентів знімання інформації.
7. Наведіть класифікацію акселерометрів по виду вихідного сигналу.
8. Наведіть класифікацію акселерометрів за діапазону вимірювань.
9. Наведіть класифікацію акселерометрів за кількістю додаткових функцій.
10. Наведіть класифікацію акселерометрів за виконанням.

8. ДАТЧИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Датчики технологічних параметрів дозволяють отримати інформацію про змінні мехатронної системи, яка бере участь в тому чи іншому технологічному процесі. До цих датчиків можна віднести датчик сили, моменту, температури, маси та інші.

Вимірювання сили полягає в врівноваженні її протидіє силою таким чином, що тіло, до якого воно докладено, залишається в спокої, і тоді результуюча сила дорівнює нулю.

Датчик сили містить чутливий елемент, що піддається дії невідомої сили. У цьому елементі виникає деформація, яка породжує протидіючу силу. У зоні пружності деформація, відповідно до закону Гука, пропорційна силі.

В робототехніці, біомеханіки за допомогою датчиків сили вимірюється вага тіла. Ці вимірювання дають можливість визначити масу тіла (об'єкта), що має найважливіше значення, оскільки в ряді випадків дозволяє виключити датчики витрати матеріалу.

Деформація, а, отже, сила може бути виміряна побічно, якщо будь-яка з електричних властивостей матеріалу залежить від деформації (наприклад, п'єзоефект).

Явище п'єзоефекту полягає у виникненні (або в зміні) електричної поляризації в деяких діелектриках таких як: кварц, турмалін, сульфат літію, спеціально оброблена кераміка і т.п.

Якщо розташувати пару обкладок на протилежних сторонах п'єзоелектричної пластини і прикласти до неї силу, то на обкладинках з'являться заряди протилежних знаків, тобто різницю потенціалів, яка буде пропорційна доданої силі.

Такий конденсаторний пристрій дозволяє виміряти силу, тиск, прискорення.

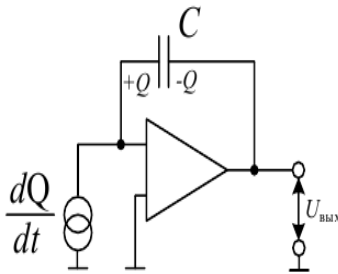


Рис. 8.1 – Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика

напругою на виході показана на рис. 8.1.

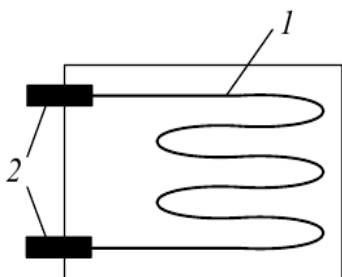
Наявність конденсатора забезпечує повний розряд п'єзодатчика при будь-якому вхідному опорі підсилувача.

Часто на практиці для вимірювання деформації використовуються досить прості тензодатчики. Робота тензодатчика заснована на ефекті, при якому електричний провідник з високим питомим опором і малим температурним коефіцієнтом при зміні довжини змінює свій електричний опір.

Тензодатчики наклеюються на деформовану поверхню так, щоб прямолінійні ділянки провідника розтягувалися або звужувалися відповідно до деформації деталі. Конструкція розповсюдженого тензодатчика спірального типу показана на рис. 8.2.

За винятком кварцу, відомого своєю стабільністю і твердістю, в датчиках зазвичай використовується кераміка як дешевша, більш зручна в обробці, володіє досить високою чутливістю.

Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика і пропорційним йому



Рисю 8.2 – Конструкція тензодатчика
1 - дротова спіраль, 2 - контакти підведення

Такі датчики спільно з тензопідсилювачами дозволяють вимірювати малі механічні деформації складові кілька мікронів.

При вимірюванні моменту, що виникає внаслідок застосування сили до важеля, існує проблема передачі інформації з рухомого датчика в стаціонарну вимірювальну ланцюг. Цей зв'язок може здійснюватися контактним

або безконтактним шляхом. При контактному зв'язку застосовуються ковзаючі контакти, або занурені в ртуть обертаються контакти. Очевидно, що робочий ресурс таких датчиків обмежений ресурсом контактів. Тому в сучасних системах набула поширення безконтактна зв'язок. В цьому випадку для передачі електричного сигналу використовується ємнісна (обертається конденсатор) або індуктивна (обертається трансформатор) зв'язок. Такий датчик складається з передавальної і приймаючої частин. У передавальній частині, для вимірювання моменту, може бути використаний магнітострикційний вимірювач. Його робота заснована на явищі зміни магнітної проникності μ ферромагнітного матеріалу в разі застосування до нього зусилля. Так, наприклад, μ зростає в області розтягування матеріалу і зменшується в області стиснення. Якщо на ферромагнітний ци-ліндричний стрижень діє момент, вісь якого збігається з віссю стержня, то виникають напруги визначають на його поверхні два взаємно перпендикулярних напрямки до осі циліндра, уздовж яких зміна магнітних проникностей μ_1 і μ_2 максимально і протилежно по

знаку. Для виявлення цих змін можна використовувати сердечник хрестоподібної форми, показаний на рис. 8.3.

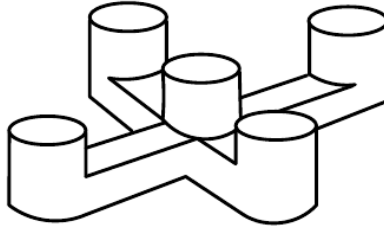


Рис. 8.3 – Хрещатий сердечник

На осерді розташована первинна обмотка і дві пари з'єднаних послідовно вторинних обмоток, включених диференційно, як показано на рис. 8.4.

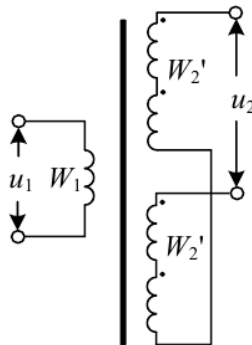


Рис. 8.4 – Схема обмоток

Якщо момент відсутня, то $\mu_1 = \mu_2, U_2 = 0$. При появі моменту ці умови не виконуються, тобто $\mu_1 \neq \mu_2$ і $U_2 \neq 0$.

Більш високою точністю вимірювання моменту має датчик, який використовує п'єзоефект або датчики індуктивного типу з вимірюванням кута кручення.

Впровадження мікропроцесорної техніки дозволяє перейти від процедури вимірювання до процедури обчислення

моменту. Якщо рушійний момент створюється двигуном постійного струму, у якого магнітний потік – величина постійна, то в цьому випадку момент пропорційний току, який легко визначити за допомогою датчика струму (в найпростішому випадку шунта).

Вимірювання потоку двигуна можливо за допомогою датчиків Холла, які виготовляють з германію, сурм'янистого індію та інших напівпровідникових матеріалів.

Крім того, необхідно відзначити, що момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату статорної напруги, тому використовуються датчики напруги (в найпростішому випадку дільник напруги).

Розвиток робототехніки викликало появу тактильних датчиків, що відтворюють відчутні властивості людської шкіри. Тактильні датчики матричного типу дають цілісне уявлення про форму предмета, оскільки кожна клітинка матриці, є не що інше, як мікроелектронних датчик сили або деформації, що виробляє електричний сигнал, що дозволяє розпізнавати образ. Тактильні датчики на інтегральних схемах із застосуванням кременю, кварцу і полікристалічний кераміки можуть забезпечити достатньо високий діапазон вимірювань при відносно невеликій вартості.

Найбільш часто вимірюваної фізичної величиною різних технологічних процесів є температура. Температура є найважливішу характеристику стану речовини. Працездатність будь-якої системи обмежена деяким діапазоном температур.

Для вимірювання температури використовують термодатчики. Їх робота заснована на здатності провідників і напівпровідників змінювати питомий опір під дією температури.

У термодатчику використовують терморезистори, що представляють собою резистори з явно вираженою залежністю $R(T)$. Зазвичай терморезистори виконуються у вигляді циліндрів, таблеток, намистин, на кінцях яких зміцнюються електроди. Як правило напівпровідниками використовують оксиди, сульфіді і нітриди металів.

Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора має вигляд, показаний на рис. 8.5.

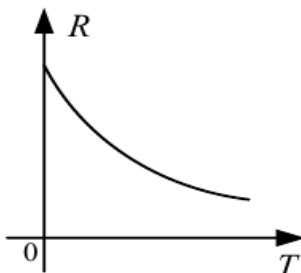


Рис. 8.5 – Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора

Терморезистори можуть використовуватися в якості датчиків вакууму, швидкості і напрямку потоку рідини або газу, оскільки в залежності від цих параметрів змінюється коефіцієнт тепловіддачі.

Контрольні питання:

1. Наведіть побудову датчика сили. Які функції чутливого елемента?
2. У чому полягає явище п'єзоефекту?
3. Що частіше всього використовують для вимірювання деформації?
4. На якому ефекті заснована робота тензодатчика?
5. На якому явищі заснована робота магнітострикційного вимірювача?
6. На якому явищі заснована робота термодатчиків?

9. ДАТЧИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РТС

«Сенсоризація» виробничої та наукової діяльності, тобто заміна органів чуття людини на датчики, може розглядатися в якості третьої промислової революції за першими двома – машинно-енергетичною та інформаційно-комп'ютерною. Потреба в датчиках стрімко зростає у зв'язку з швидким розвитком автоматизованих систем контролю та управління, впровадженням нових технологій і переходом до гнучких автоматизованих виробництв.

Сучасний етап НТП все більше пов'язується з такими її пріоритетними напрямками як: автоматизація, роботизація, розвиток мікроелектроніки, інформатики, комплексна механізація виробництва.

Сьогодні питання мініатюризації є ключовими у всіх галузях промисловості – мікроелектроніці, нанотехнологіях, генетиці та ін.

Мікроелектроніка забезпечила істотний розвиток мехатроніки. Сучасні мікроелектронні пристрої відкрили принципово нові можливості для об'єднання (інтегрування) механіки і електроніки, які за своїм рівнем значно перевершують існуючу раніше електромеханіку.

Мікроелектроніка грає ключову роль в реалізації машин нового покоління – мікроелектромеханічних систем (MEMS) або мікросистемних технологій (MST).

MEMS (або MEMS) – конструктивно представляють сформовані на одній підкладці датчики, виконавчі механізми, пристрої управління з розмірами елементів до декількох одиниць мікрон і менше, мають, як правило, тривимірну структуру.

Вони виготовляються здебільшого по напівпровідниковій технології: поверхнева і об'ємна мікрообробка матеріалів (полікристалічний кремній), LIGA і SIGA – технології, а також MUMPs – процес [29].

Прискорення науково-технічного прогресу на теперішньому етапі розвитку виробництва значною мірою пов'язано з широким використанням комп'ютеризованих систем та робототехніки. Обсяг інформації, що використовується у роботизованих системах, зростає пропорційно рівню їх адаптації до умов навколишнього середовища, у якому здійснюється функціонування системи.

Як відомо, адаптивні здібності роботизованих систем набуваються використанням засобів адаптації різного роду, зокрема, систем технічного зору, тактильних, силомоментних, навігаційних та інших датчиків. Обробка інформації від таких засобів складає окрему сторінку розвитку робототехніки, зі своїми моделями, характерними засобами моделювання та конструювання. Їх розвиток і сьогодні складає сутність досліджень у галузі роботизованих систем.

Однією з найбільш складних задач, які потрібно вирішувати у гнучких комп'ютеризованих та робототехнічних системах (РТС) є ідентифікація об'єктів роботизації (ОР).

У ряді автоматизованих інформаційних систем (ІС) (вимірювальних, автоматизації наукових досліджень, управління технологічними процесами) використовуються також засоби безпосереднього введення інформації від джерел, що включають в себе аналого-цифрові та інші перетворювачі, блоки сполучення з ЕОМ.

Вибір інформаційної системи електронно-механічної системи (ЕМС) проводять відповідно до її функціонального призначення і характеру розв'язуваної задачі. Наприклад, для сприйняття зовнішнього середовища, для контролю стану обладнання, для забезпечення техніки безпеки, для контролю наявності об'єкту, контролю координат переміщуваного об'єкта, для визначення фізичних параметрів об'єктів.

Інформаційна система забезпечує збір, первинну обробку та передачу в систему управління даних про функціонування вузлів і механізмів промислового робота (ПР) (у тому числі і блоків системи управління) і про стан зовнішнього середовища.

ІС входить до складу системи програмного управління (СПУ) і включає в себе пристрій зворотного зв'язку (ПЗЗ), пристрій порівняння сигналів (ППС) і комплекс датчиків зворотнього зв'язку (ДЗЗ) різного функціонального призначення.

Інформаційні системи ПР за функціональним значенням умовно можна розділити на три підсистеми:

1. Сприйняття і переробки інформації про зовнішнє середовище, в якому функціонує робот;
2. Внутрішньої інформації про стан вузлів, механізмів і систем ПР;
3. Забезпечення техніки безпеки.

Умовність такого поділу визначається тим, що одні й ті ж датчики і блоки обробки інформації можуть на основі міжсенсорної та сенсомоторної взаємодії брати участь як у сприйнятті зовнішньої інформації, так і в контролі власного стану ПР, а інформаційна підсистема забезпечення техніки безпеки функціонує в результаті взаємодії двох перших підсистем.

Підсистема зовнішньої інформації визначає функціональні можливості ПР і ступінь складності розв'язуваних їм завдань; вона призначена для збору інформації про зовнішнє середовище і контролю стану об'єкта праці, що обслуговується. Залежно від способу взаємодії з об'єктами зовнішнього середовища ця підсистема може бути розділена на дистантну (візуальну, локаційну) і контактну (дотику).

Контактні датчики застосовують для виявлення об'єкта, встановлення моменту зіткнення з ним, визначення розмірів об'єкта, контролю тиску на об'єкт, виконання різних виробничих операцій, встановлення підготовленості основного технологічного устаткування до обслуговування роботом, а також для організації безпечної роботи.

Призначення дистантних (безконтактних) датчиків те ж, що і контактних. Їх перевага – відсутність безпосереднього зіткнення з об'єктом, внаслідок чого вони не відчувають силових впливів. Однак відсутність контакту з поверхнею

накладає свої обмеження на розв'язувані з їх допомогою завдання. Так, використання дистантних датчиків ускладнює визначення деяких фізичних параметрів об'єктів маніпулювання – шорсткості по-верхні, теплоємності, електропровідності і т.п., а також ускладнює захоплення тендітних (деформівних) об'єктів і контроль за надійним утриманням цих об'єктів в процесі маніпулювання з ними.

Підсистема внутрішньої інформації в залежності від розв'язуваних завдань може містити різні пристрої:

- оцінки положення і швидкості руху ступенів рухливості ПР, що реєструє фактичний його стан у кожний момент часу і порівнюючи інформацію, що надходить з необхідними параметрами руху;

- аварійного блокування, що запобігають поломці механічної системи ПР і взаємодіючого з ним обладнанням при появі випадкових збоїв;

- діагностики та прогнозування ресурсу ПР, призначених для визначення причин відмов, попереднього повідомлення про них і скорочення часу відновлення працездатності ПР, а також для зменшення числа відмов ПР шляхом своєчасного проведення профілактичних робіт.

Як датчики внутрішньої інформації застосовують граничні вимикачі, безконтактні перемикачі, фотореле, реле тиску, силові датчики і датчики моментів. Датчиками внутрішньої інформації можуть бути й елементи системи зовнішньої інформації (оцінка положення ступенів рухливості ПР в просторі шляхом проходження контрольних точок, оцінка правильності перебігу робочого циклу за відповіддю командам від зовнішнього технологічного устаткування і т.п.). Якщо в ПР використано-вуються гідро- або пневмомеханізми зі зворотним зв'язком, то для визначення положень виконавчих органів застосовують потенціометри, селіні, резольвер, індуктивні датчики різних типів, генератори імпульсів, кодові датчики та інші пристрої. За допомогою зазначених датчиків в СПУ робота передається інформація про положення (лінійних і кутових)

виконавчих механізмів ПР, про підготовленість до роботи приводів і т.п.

Основна увага при розробці засобів внутрішньої інформації приділяють датчикам дотику, які дозволяють не тільки піз-навати об'єкти, а й (що найбільш важливо) забезпечувати надійний їх захоплення та утримання. Таким чином, виключається небезпека перехоплення деталі або її вильоту в процесі транс-портування, що зменшує в першому випадку можливість виникнення аварійної ситуації для обладнання, а в другому – можливість травматизму для обслуговуючого персоналу.

Інформаційне забезпечення роботи ПР складається з трьох послідовно реалізованих етапів (фаз):

1. Схват об'єкту маніпулювання;
2. Його переміщення в просторі (транспортування);
3. «Терміналу».

Остання фаза може переслідувати три основні цілі: досягнення кінцевого положення і орієнтацію об'єкта маніпулювання щодо інших об'єктів у робочому просторі; отримання надійного контакту (взаємозв'язку) об'єкта маніпулювання або кінцевої ланки ПР з якими-небудь об'єктами зовнішнього середовища; забезпечення на кінцевій ланці ПР зусиль або моментів, достатніх для виконання виробничих операцій. Кожній з цих фаз потрібно різне інформаційне забезпечення. Фази захвату об'єкта і терміналу можуть здійснюватися під контролем підсистем зовнішньої та внутрішньої інформації. Фаза транспортування вимагає в основному використання пристроїв оцінки положення і швидкості переміщень ступенів рухливості ПР, а також пристроїв аварійної блокування.

Інформаційна система значною мірою визначає функціональні можливості ПР, складність розв'язуваних роботами зав-дань, експлуатаційну надійність та ефективність використання їх у виробничих умовах, а також є важливою ланкою в забезпеченні безпеки обслуговуючого персоналу.

Залежно від функціо-нального призначення, характеру вирішуваних завдань інформаційні системи ПР можуть бути умовно розділені так, як це показано на рис. 9.1 [31]. Умовність прийнятої класифікації визна-чається тим, що одні й ті ж датчики і блоки обробки інформації можуть на основі міжсенсорної та сенсомоторної взаємодії брати участь як у сприйнятті зовнішньої інформації, так і в контролі власного стану ПР. Підсистема техніки безпеки формується поєднанням і взаємодією окремих елементів підсистем сприйняття зовнішнього середовища і контролю власного стану ПР.

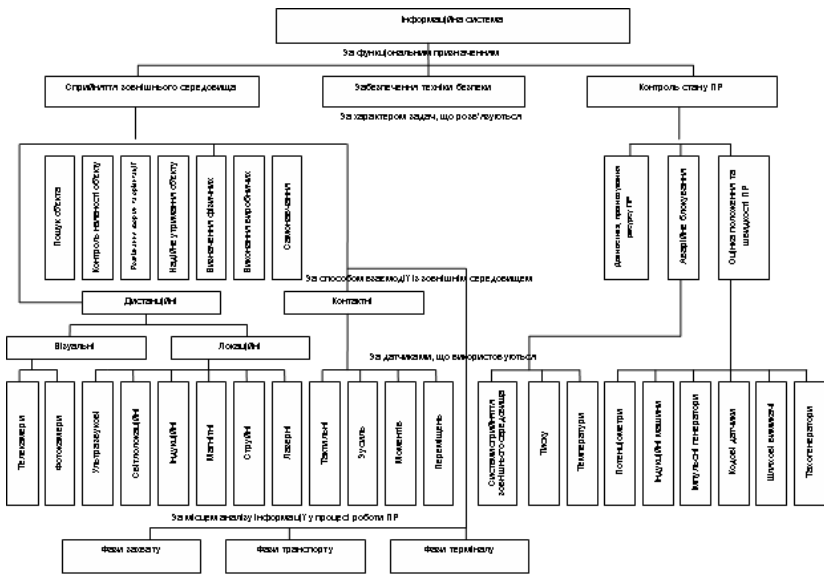


Рис. 9.1 – Класифікація інформаційних систем ПР

9.1. Системи штучного дотику

Датчики грають в робототехніці одну з найважливіших ролей. За допомогою різних сенсорів робот відчуває навколишнє середовище і може орієнтуватися в ній. За аналогією з живим організмом – це органи чуття. Навіть звичайний саморобний робот не може повноцінно функціонувати без найпростіших датчиків. У цій статті ми детально розглянемо всі види датчиків, які можна встановити на робота, і корисність їх застосування.

Тактильні сенсори наділяють робота можливістю реагувати на контакти (сили), що виникають між ним і іншими об'єктами в робочій зоні. Зазвичай цими датчиками оснащують промислові маніпулятори, а також роботів з медичним застосуванням. Машини, оснащені тактильними сенсорами, ефективно справляються з операціями складання і контролю, тобто функції, які вимагають враховувати тонкощі роботи.

Розробляючи сучасних гуманоїдних роботів, виробники оснащують їх цими сенсорами, щоб зробити машини ще більш «живими», здатними сприймати інформацію про навколишній світ буквально на дотик.

Особливістю роботи систем штучного дотику є наявність контакту датчиків з поверхнею об'єкта. З їх допомогою можуть бути вирішені такі завдання: пошук, виявлення предметів і визначення їх положення; захват і маніпулювання з неорієнтованими об'єктами; розпізнавання форми предметів і їх класифікація; визначення фізичних властивостей об'єктів (маса, твердість, шорсткість поверхні, температура, тепло- і електропровідність і т.п.); надійне захоплення й утримання об'єкта з контролем зусилля затиску (з метою запобігання руйнування крихких і легкодеформуємих предметів); контроль за мікропереміщенням деталей при виконанні деяких складальних операцій; контроль зсувів об'єкта в захватному пристрої ПР при впливі на нього динамічних навантажень.

Найпростішими датчиками системи штучного дотику є тактильні датчики контактного типу. Ці датчики зазвичай

розташовують на зовнішніх і внутрішніх поверхнях захватного пристрою ПР. В якості чутливих елементів зазвичай використовують мікроперемикачі. Рідше датчики створюють на основі електропровідних полімерів.

Такі датчики можна рекомендувати для вирішення завдання контролю наявності деталі в захватному пристрої ПР, контролю правильності центрування об'єкта у захватному пристрої, а також для пошуку, розпізнавання, захоплення і маніпулювання з просторово неорієнтованими предметами.

Останнє дозволить спростити вимоги до спеціального оснащення ПР, що призведе до зниження її вартості [32].

До датчиків дотику відносяться: датчики торкання, що визначають контакт захватного пристрою (ЗП) з об'єктом або з якою-небудь перешкодою; датчики зусилля затиску деталі (прослизання), що визначають переміщення захопленої деталі щодо ЗП; тактильні датчики, що визначають геометричний образ об'єкта.

Датчики дотику являють собою різного роду мікровимикачі, встановлені на пальцях «руки». Їх перевага полягає в простоті конструкції; недоліком є те, що факт контакту з предметом такий датчик визначає тільки в точці його розміщення. Досить зручні і перспективні в застосуванні є пневматичні датчики типу сопло-заслінка. Їх основна перевага полягає в тому, що чутливі елементи можна вивести за межі «руки» маніпулятора, залишивши в ній тільки вихідне сопло; недолік – подовження комунікаційних ліній, що з'єднують вихідне сопло з чутливим елементом.

Перспективними є також *електретні датчики*, які характеризується малими розмірами (2,7x2,9мм), з електретною напругою 500 В. Електретна напруга є результатом поляризації високою напругою пластинки датчика, що складається з полімерної плівки-діелектрика з підкладкою з алюмінієвої фольги. Вихідний сигнал подається з електретного електрода на інтегральну схему підсилювача і від нього – на блок управління пальцями «руки». Зусилля, на яке реагує електретний датчик,

дорівнює $0,015 \pm 0,005$ Н. Перевага таких датчиків складається у тому, що вони одночасно є генераторами електричної енергії і не вимагають окремих джерел живлення.

Для нагрітих деталей датчиками торкання можуть служити різні *температурні датчики*. Зокрема, може бути використана система термографування з інфрачервоними оптичними волокнами. Оснащення пальців ЗП засобами волоконної оптики дозволяє досить просто за величиною затемнення окремих волокон судити про місця контакту пальця з об'єктом; а по мірі їх освітлення – і про його прослизання. Безсумнівно, що застосування волоконної оптики в засобах сенсibiliзації, особливо в засобах ближньої локації, перспективно.

Всі *датчики зусилля затиску деталі* засновані на властивості пружних тіл деформуватися пропорційно прикладеному до них зусиллю. Тому будь-який датчик зусилля включає в себе деформуємий пружний елемент, що контактує з деталлю, і схему перетворення величини деформації у відповідний сигнал, що характеризує собою зусилля затиску. Одним з таких пружних елементів служить електропровідна гума, струм в якій залежить від ступеня її деформації. До електропровідних датчиків відноситься, наприклад, спінений поліуретан, укладений з обох сторін між тонкими металевими пластинками, зміна тиску в датчику перетвориться в зміну опору між пластинами.

Датчики прослизання засновані на реєстрації руху деталі щодо ЗП. Такі датчики виконуються контактними і безконтактними. Перші мають елементи, що входять в контакт з деталлю, що затискається, другі при ковзанні деталі змінюють своє положення щодо деяких базових елементів ЗП, що є сигналом про початок прослизання. В одній з поширених конструкцій безконтактних датчиків прослизання останній забезпечений перетворювачем, який оснащений роликом малого діаметру, який повертається при прослизанні деталі. Обертання ролика перетворюється в електричний сигнал за допомогою фотоелектричного кругового датчика. При прослизанні зусилля

захоплення збільшується до тих пір, поки ковзання не припиниться. Для збільшення тертя між деталлю і роликом останній армується гумою.

Інший пристрій, що визначає прослизання деталі і зусилля затиску, відрізняється тією особливістю, що в кожному з пальців ЗП вільно розташована гумова мембрана, що перекриває отвір в ньому. При захопленні деталі в порожнину пальців по-дається стисле повітря, тиск якого регулюється. Повітря під тиском притискає мембрану до отвору і деформує її. Тим самим деталь затискається в пальцях за допомогою мембран. Зусилля затиску визначається деформацією мембрани, а прослизання по ній деталі веде до зміни цієї деформації. Вимірювання останньої дозволяє оцінити комплексно умови затиску. В даному випадку мембрана відіграє роль первинного перетворювача, вимірювання деформацій якого дозволяє судити про характер затиску деталі. Для збільшення коефіцієнта чутливості такого перетворювача до мембрани можна прикріпити важелі, що впливають на вторинні перетворювачі, керуючі подачею повітря в порожнині пальців.

Датчики зусиль (моментів) застосовують в роботах, що здійснюють маніпулювання крихкими і легкодеформуємими предметами або виконують прості операції складання.

У першому випадку датчики зусиль дозволяють регулювати зусилля схвата пропорційно масі захоплюваних об'єктів. Такі датчики зазвичай встановлюють у схваті, і тому вони повинні бути невеликих розмірів.

Застосовують два способи вимірювання зусиль: за пружною деформацією чутливого елемента і по переміщенню рухомої частини чутливого елемента.

Для вимірювання малих зусиль придатні різні конструкційні рішення з використанням дровових і напівпровідникових тензометрів опору або струмопровідних полімерів. Для вимірювання великих зусиль застосовують магнітопружні елементи, а для точних вимірювань – градуйовані пружини та інші пружнотчутливі елементи.

При виконанні найпростіших операцій складання доцільно введення деякої адаптації ПР до умов виконання операції шляхом використання більш складних датчиків зусиль (моментів). Така адаптація дозволяє забезпечити реалізацію посадочних операцій з точністю в межах декількох мікрометрів.

Конструктивна складність застосовуваного датчика зусилля (моменту) визначається в першу чергу складністю розв'язуваного за їх допомогою завдання. У загальному випадку для отримання повної картини силової взаємодії схвату ПР із зовнішнім об'єктом необхідно використовувати шестикомпонентний датчик, що вимірює три складові зусилля уздовж координатних осей і три моменти щодо цих осей.

Перспективним є розташування силового датчика не тільки на руці ПР, а всередині складального столу. Це спрощує конструкцію, знижує вимоги до габаритних розмірів. Такий датчик може бути виконаний у вигляді квадрата з пластин, розташовуваних одна над іншою і закріплених на робочій поверхні стола, між якими розташовуються тензометри.

Силовий датчик повинен бути захищений від перевантажень і пошкоджень.

Датчики реєстрації переміщень об'єкта призначені для захвату і надійного утримання предметів без їх деформації.

Більшість відомих конструкцій мають недоліки, що обмежують можливість їх застосування на практиці. До них відносять низьку перешкодозахищеність залежно від їх орієнтації щодо напрямку переміщення захоплуваних предметів, реєстрацію переміщення тільки в одному напрямку, а також обмеження величин реєстрованих переміщень. Так, датчики, в яких контакт з поверхнею предмета здійснюється за допомогою різноманітних конструкцій роликів, реєструють переміщення предмета тільки в одному напрямку.

Перспективним конструктивним рішенням є *електромеханічний датчик*. Він дозволяє реєструвати переміщення предмета в будь-якому щодо датчика напрямку. У його конструкції передбачено періодичне переривання контакту

датчика з поверхнею предмета за допомогою електромеханічного соленоїда (вібратора). Це дозволяє протягом відрізка часу, поки відсутній контакт з поверхнею деталі, здійснювати механічну компенсацію (завдяки пружинним властивостям стрижня) попереднього переміщення сприймаючого елемента датчика. Таким чином, період часу, при якому здійснюється контакт датчика з поверхнею предмета, служить для реєстрації можливого переміщення предмета в захваті. Під час відсутності контакту датчик приходить в початковий стан. Вибравши певним чином частоту перемикання соленоїда і тривалість періодів контакту датчика з поверхнею предмета, можна реєструвати його переміщення без обмежень величини. Чутливість такого датчика буде визначатися, з одного боку, швидкістю переміщення захопленого об'єкту, а з іншого – його конструктивними параметрами і частотою перемикання соленоїда.

У більшості розробок здійснюється постійне прирощення зусилля схвата предмета у відповідь на сигнал датчика вислизання. Якщо цього недостатньо для здійснення тонких маніпуляцій, то необхідна організація взаємодії рухових і сенсорних систем для вирішення завдань надійного утримання предметів з урахуванням їх маси, властивостей поверхні і діючих на них динамічних збурень.

Об'єднання контактних датчиків в *матриці* з погляду інформаційного змісту додає нову розмірність, при якій сукупність датчиків впорядкована в просторі (рис. 9.2). Це дозволяє отримувати інформацію про зону контакту між захватом маніпулятора та об'єктом. Форма зони контакту може бути використана для розпізнавання предметів, а за допомогою аналізу часових змін тактильного образу вона може бути використана для виявлення прослизання предмета у захваті.

При використанні матриць слід враховувати ряд факторів. При низькій щільності розташування датчиків в матриці можуть бути застосовані мікроперемикачі, реле і т.п.

Більш високі функціональні можливості ПР забезпечуються при використанні матриць з пропорційних датчиків, які застосовують в основному для вирішення задачі класифікації і визначення форми об'єктів маніпулювання.

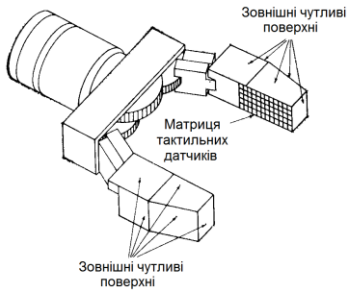


Рис. 9.2 – Матриця датчиків

При розробці пропорційних тактильних датчиків перспективно застосування різних струмопровідних полімерних матеріалів, а також інтегральної технології, що дозволить створити різні мініатюрні датчики тиску.

Для застосування матриць потрібна розробка спеціальних алгоритмів обробки інформації, що дозволяють на основі міжсенсорної і сенсомоторної взаємодії здійснювати як одномоментне розпізнавання форми тривимірних об'єктів, так і розпізнавання шляхом активного і цілеспрямованого щупання їх по-верхні.

Однак експлуатаційна надійність матриць пропорційних датчиків ще досить низька. Крім того, збільшення набору предметів, що класифікуються, вимагає здійснення щупання їх по-верхні, що викликає певні труднощі.

Можна припустити, що в більшості випадків для цих цілей більш виправданим є оснащення ПР візуальними системами, а матриці пропорційних датчиків будуть використовуватися тільки в окремих випадках застосування ПР, коли зоровий контроль утруднений.

9.2. Радіолокаційні системи

Системи локації зважаючи на відсутність безпосереднього контакту між датчиками і поверхнею об'єкта мають більш високу надійність до механічних пошкоджень. Крім цього вони дозволяють істотно знизити обмеження на швидкість переміщення зовнішніх об'єктів щодо ПР порівняно з системами штучного дотику.

Радіолокаційні системи умовно можна розділити на два класи: системи дальньої і системи ближньої локації робочого простору. Перші можуть бути побудовані з використанням ультразвукових, лазерних і світлокаційних (оптичних) систем.

Ультразвукові дальноміри дозволяють вимірювати відстані до об'єкта в діапазоні 0,2-2 м з похибкою 2%. Точність кутових координат, тобто положення об'єкта, значно нижче, оскільки опромінюється більша частина поверхні предмета, що ускладнює виділення його локальної ділянки для вимірювання. Тому ультразвукові системи використовують для виявлення об'єкта і визначення його положення в просторі.

Локаційні пристрої на основі лазерних випромінювачів дозволяють визначити просторове положення об'єктів з вельми високою точністю.

Широке застосування можуть знайти світлокаційні системи. В них робочий простір «ощупують» світловим або інфрачервоним випромінюванням. В якості випромінювачів використовують лампи розжарювання, світлодіоди та інші засоби, в якості приймачів – різні конструкції з використанням фотодіодів.

Для прийому сигналів розробляються спеціальні фотоматриці. Точність визначення відстані за допомогою світлокаційних систем може досягати 2 мм на відстані до 2 м.

Системи ближньої локації можуть бути побудовані і на основі індукційних, магнітних та струменевих датчиків. Серед них найкращими експлуатаційними характеристиками володіють магнітні й струменеві датчики.

Основним недоліком дистантних датчиків є те, що їх вихідні сигнали залежать від відбивної здатності, нерівності поверхні і матеріалу досліджуваних предметів. Недоліком є і те, що досліджувана поверхня повинна бути перпендикулярна до світлового променя (або повітряного потоку), що, наприклад, для пошукових операцій в більшості випадків нездійсненно. Доцільність використання їх визначається в кожному конкретному випадку умовами розв'язуваної задачі. Більш універсальне застосування мають локаційні датчики, що працюють на просвіт (наприклад, для контролю наявності деталі у схваті).

9.3. Звукові датчики

Ці датчики служать для безпечного пересування роботів в просторі за рахунок вимірювання відстані до перешкоди від декількох сантиметрів до декількох метрів. До них відносяться мікрофон (дозволяє фіксувати звук, голос і шум), далекоміри, які представляють собою датчики, які вимірюють відстань до найближчих об'єктів та інші ультразвукові сенсори. Ультразвук (УЗ) особливо широко використовуються практично у всіх галузях робототехніки.

Робота ультразвукового датчика заснована на принципі ехолокації (рис. 9.3). Ось як це працює: динамік приладу видає УЗ імпульс на певній частоті і заміряє час до моменту його повернення на мікрофон. Звукові локатори випромінюють спрямовані звукові хвилі, які відбиваються від об'єктів, і частина цього звуку знову надходить в датчик. При цьому час надходження і інтенсивність такого поворотного сигналу несуть інформацію про відстань до найближчих об'єктів.

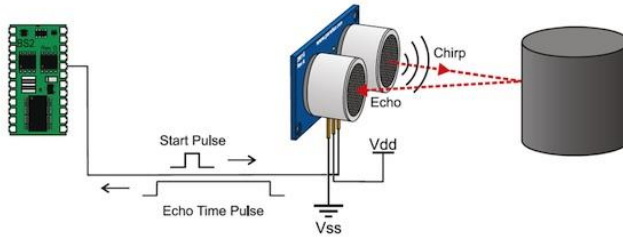


Рис. 9.3 – Принцип роботи звукового датчика

Для автономних підводних апаратів переважно використовуються технології підводних гідролокатором, а на землі звукові локатори в основному використовуються для запобігання зіткнень лише навколо міста, оскільки ці датчики характери-зуються обмеженим діапазоном.

До числа інших пристроїв, альтернативних по відношенню до звукових локаторам, відносяться радари, лазери і лідари. Замість звуку, в цьому типі далекомірів використовується відбитий від перешкоди лазерний промінь. Ці датчики отримали більш широке застосування в розробці автономних автомобілів, так як дозволяють транспортному засобу більш ефективно справлятися з дорожнім рухом.

9.4. Візуальні системи

Для отримання зорового зображення зазвичай використовують пристрої монокулярного або бінокулярного штучного зору. Як датчики застосовують відікони, фотоматриці і т.п., а для вирішення завдань управління ПР – ЕОМ.

При побудові робота просто не обійтися без оптичних датчиків (рис. 9.4). З допомогою них апарат буде «бачити» все навколо. Ці сенсори працюють за допомогою фоторезистора. Датчик відображення (випромінювач і приймач) дозволяє визначати білі або чорні ділянки на поверхні, що дозволяє, наприклад, колісному роботу рухатися по намальованій лінії або

визначити близькість перешкоди. Джерелом світла часто служить інфра-червоний світлодіод з лінзою, а детектором – фотодіод або фототранзистор.

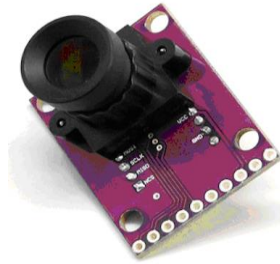


Рис. 9.4 – Оптичний датчик

Схема будь-якого оптичного датчика (рис. 9.5) складається з таких елементів: джерела випромінювання (В), приймача випромінювання (П), середовища передачі (М), організованого оптичного каналу (ОК) і об'єкту. Вимірюваний параметр об'єкта змінює характеристику оптичного каналу, яка вимірюється приймачем.

На окрему увагу заслуговують відеокамери. По суті, це очі робота. Цей тип датчиків на сьогоднішній широко використовується завдяки зростанню технологій в сфері обробки зображень. Як розумієте, крім роботів, застосувань відеокамер досить: системи авторизації, розпізнавання образів, виявлення руху в разі охоронної діяльності і т.п.

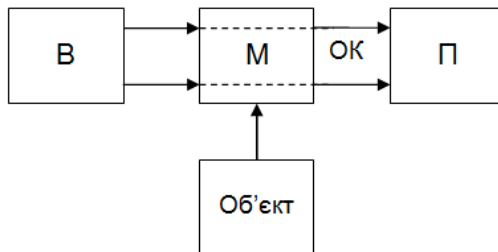


Рис. 9.5 – Схема оптичного датчика

Питання використання візуальних систем вивчені досить повно, розроблено відповідне математичне забезпечення. Це дозволяє здійснити широке застосування на практиці систем технічного зору (СТЗ) для вирішення складних завдань щодо класифікації та розпізнаванню зовнішніх об'єктів в тому випадку, коли присутні перешкоди для зорового контролю (маніпулювання об'єктами в невеликих і закритих об'ємах, коли окремі вузли ПР і устаткування можуть заважати зоровому контролю, робота в середовищах з різною оптичною проникністю, недостатня освітленість поля зору і т.п.). У виробничих умовах додаткові перешкоди для візуального розпізнавання об'єкта можуть бути викликані станом і характером обробки його поверхні, наявністю іржі і забруднення і т.п.

9.5. Системи технічного зору

Серед систем адаптації роботів найбільшою інформативною ємністю володіють СТЗ, що повідомляють роботу інформацію про властивості об'єкта і середовища маніпулювання за допомогою перетворення, аналізу та обробки відеоінформації за допомогою ЕОМ.

Системи технічного зору досить широко і успішно застосовуються в багатьох галузях промисловості на таких операціях, як контроль і обробка різних деталей і виробів за зовнішнім виглядом, завантаження обробних верстатів деталями з конвеєрів або з бункерів, сортування і орієнтоване укладання в касети деталей і заготовок, в тому числі ті, що неупорядковано рухаються по конвеєру, або надходять в тарі навалом, складання та комп-лектація вузлів, зварювання, фарбування, упаковка деталей, монтаж електронних схем та інших. СТЗ використовують також для забезпечення умов техніки безпеки на роботизованих робочих місцях, організації обліку та складування предметів виробництва, маршрутизації

матеріалопотоків в гнучких виробничих системах, управління транспортними мобільними роботами.

Область технічного зору стала прикладом складної технології, в якій швидка поява нових удосконалених аналізаторів візуальної інформації постійно викликає моральне старіння вже існуючих.

Функціональне призначення СТЗ робота в залежності від області і конкретних умов його застосування досить різноманітне. Найбільш типовими функціями, виконуваними СТЗ у робототехніці, є такі: реєстрація наявності об'єкта в полі зору датчика зовнішньої (стосовно до робота) відеоінформації – відеосенсорів; підрахунок числа об'єктів, що знаходяться в полі зору або пройшли перед відеосенсорами; зчитування і розшифровка міток (колірних або штрихових кодів, буквено-цифрових кодів, буквено-цифрових символів, етикеток та інших маркерів); виявлення перешкод, що заважають рухам робота; вимірювання геометричних і фізичних параметрів об'єктів; контроль виробів на наявність видимих дефектів, повноту комплектації, відповідність стандартам; класифікація (розпізнавання) об'єктів; визначення місцезнаходження і орієнтації об'єктів в робочій зоні робота; пошук потрібних об'єктів на робочій сцені; вимірювання швидкості рухомих об'єктів; стеження за переміщеннями і змінами швидкості об'єктів; візуальне визначення змін у часі спостережуваних фізичних і технологічних процесів; забезпечення інформації для завдання і корекції траєкторій робочого органу робота в адаптивному режимі; навігація і наведення мобільних роботів; візуальний контроль правильності виконання операцій роботом; калібрування геометричних параметрів маніпулятора, прив'язка його системи координат до системи координат робочого простору; забезпечення вимог техніки безпеки.

Чим складніші завдання з урахуванням всієї сукупності описаних критеріїв здатна вирішувати СТЗ, тим вище рівень функціональної гнучкості («інтелекту») робота може бути забезпечений з її допомогою.

Для виконання свого функціонального призначення СТЗ робота в загальному випадку повинна забезпечувати: сприйняття оптичного сигналу і формування зображення; попередню обробку зображення з метою ослаблення впливу шумів, поліпшення контрастності, корекції спотворень, стиснення інформації і т.д.; сегментацію зображення сцени на складові частини – виділення потрібних об'єктів, їх фрагментів або характерних особливостей; опис зображень – розрахунок їх геометричних і інших характеристик, обчислення класифікуючих ознак, визначення місцеположення і орієнтації; аналіз зображення з розпізнаванням образів або класифікації об'єктів і інтерпретацією сцен на основі моделі проблемного середовища; передачу отриманих результатів в систему управління робота.

Засоби збору інформації в ЕМС можуть включати в себе локаційну систему, тактильну систему, систему зусиль і моментів і систему технічного зору в найбільш досконалих мехатронних систем.

До числа основних вимог, що висуваються до СТЗ адаптивних роботів, в першу чергу можна віднести такі:

а) підвищений ступінь універсальності. СТЗ універсальних роботів за своєю суттю повинні забезпечувати вирішення якнайширшого кола різноманітних функціональних завдань і бути придатними для роботи в різних, у тому числі нестаціонарних умовах;

б) гнучкість. Це поняття включає в себе: можливість частой змінюваності вирішуваних завдань, швидкість і зручність переходу до нових типів сцен і класам об'єктів, у тому числі шляхом перенавчання СТЗ; здатність працювати з об'єктами, розміри, форма та інші параметри яких змінюються в широкому діапазоні; бажаність цілеспрямованого вибору точності вимірювань, роздільної здатності, поля зору, числа градацій яскравості та інших характеристик на різних стадіях огляду сцени; простоту оперативної перебудови (аж до автоматичної)

при змінах освітленості, контрастності фону, відстані до об'єктів, кута огляду і т. п.;

в) високу швидкодію. СТЗ робота повинна задовольняти жорстким вимогам роботи в реальному часі, тобто не затримувати дії робота і не знижувати темп роботизованого процесу;

г) стійкість до впливів навколишнього середовища. При візуальному наданні чутливості роботів необхідно приймати спеціальні заходи щодо захисту відеоапаратури від впливу шкідливих факторів, а також щодо підвищення стійкості СТЗ до впливу електромагнітних наведень і оптичних перешкод, механічних поштовхів і вібрацій, вологості та інших несприятливих впливів;

д) необхідність мініатюризації. Елементи СТЗ, що встановлюються на рухомих ланках маніпуляторів, а також на мо-більних роботах, повинні мати якомога менші розміри і масу, щоб не погіршувати маневреність і динамічні характеристики робота;

е) зв'язок з існуючими пристроями управління роботів. Потрібно забезпечити апаратну і програмну сумісність зі стандартними системами управління роботів, відповідність характеристикам застосовуваних обчислювальних засобів, можливість ефективного сполучення з наявними інтерфейсами.

У системах технічного зору застосовують і відеокамери, основним елементом яких є відікон. Відікони бувають з магнітним і електростатичним перетворенням променя.

В даний час в СТЗ широко застосовуються прилади із зарядним зв'язком (ПЗЗ). ПЗЗ знаходять застосування у виробництві ІМС, в аналогово-цифрових перетворювачах, в запам'ятовуючих пристроях. СТЗ на базі ПЗЗ мають матричну структуру чутливого поля, що забезпечує високу щільність елементів, дискретизацію зображення, високу інформативність, швидкодію і малі габарити.

Позитивні характеристики: низький рівень вхідних шумів, висока лінійність фотоелектричного перетворення, мале

енергоспоживання, висока стійкість до механічних, електромагнітних і акустичних впливів, висока надійність і довговічність.

Пристрої сполучення засобів управління з об'єктом (ПСО) дозволяють виконати квантування відеосигналу по яскравості і перетворення його, наприклад, в 16-розрядний код, для обробки в ЕОМ. Завдання розпізнавання характеристик об'єкта вирішується методом порівняння з еталонними даними, що знаходяться в пам'яті ЕОМ.

Програмне забезпечення інформаційної підсистеми ЕМС складається зазвичай з декількох частин, які реалізують функцію розпізнавання об'єкта, обробки і відображення інформації.

Для виконання свого функціонального призначення СТЗ робота в загальному випадку повинна забезпечувати: сприйняття оптичного сигналу і формування зображення; передачу отриманих результатів в систему управління робота.

На рис. 9.6 представлена функціональна схема забезпечення чутливості робота оснащеного СТЗ.

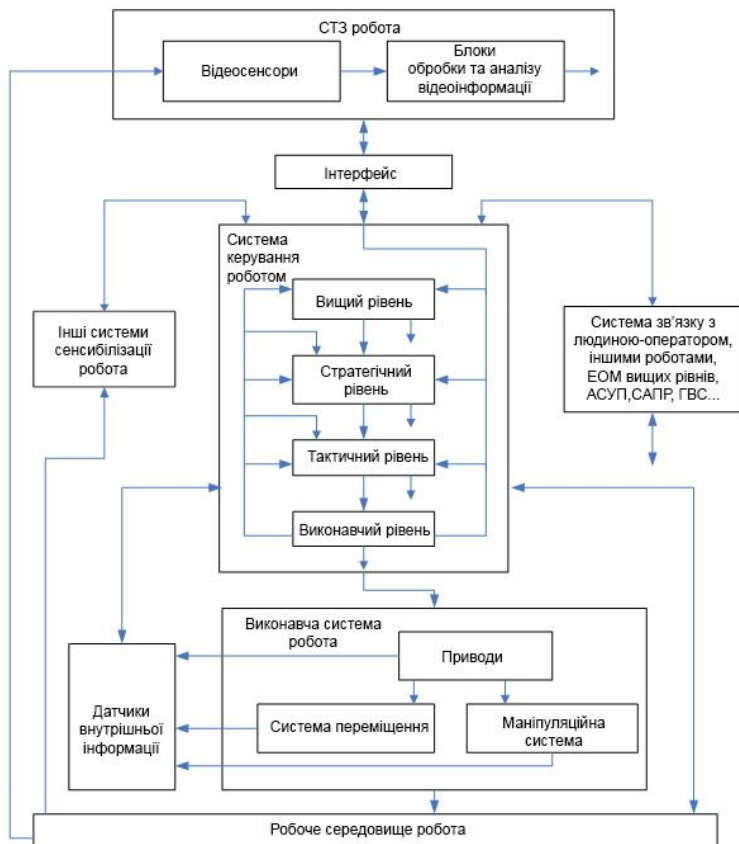


Рис. 9.6 – Функціональна схема забезпечення чутливості робота оснащеного СТЗ

Згідно з представленою блок-схемою в інформаційному пристрої можна виділити три групи сенсорів:

1) датчики інформації про стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт (системи технічного зору, локаційні датчики і далекоміри і т.д.);

2) датчики інформації про рух механічної частини (датчики переміщень, швидкостей, прискорень, сил і моментів);

3) датчики зворотного зв'язку блоку приводів (дають інформацію про поточні значення електричних струмів і напруг в силових перетворювачів).

Контрольні питання:

1. Дайте класифікацію інформаційних систем ПР.
2. Особливість роботи систем штучного дотику?
3. На яких принципах заснована робота датчиків прослизання?
4. Які способи вимірювання зусиль ви знаєте?
5. З якою метою проводять об'єднання контактних датчиків в матриці?
6. Які фактори необхідно враховувати при використанні матриць?
7. Основні недоліки дистантних датчиків?
8. На яких принципах заснована робота ультразвукового датчика?
9. На яких принципах заснована робота оптичного датчика?
10. Наведіть функції, які виконують СТЗ у робототехніці

10. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ В СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для управління складними технічними об'єктами (процесами) з динамічно мінливим станом потрібні розподілені комп'ютерні системи, здатні вирішувати завдання в високому темпі реального часу. При створенні розподілених систем акцент робиться на розвиток і застосування розпаралелюваних інтелектуальних методів управління, розподілених обчислень та інтелектуальної обробки інформації. Сьогодні це стосується і низового рівня управління. Інтелектуальними вузлами систем управління є вже не тільки промислові комп'ютери і контролери, ними стають також датчики і виконавчі пристрої [33].

Дійсно, складні, функціонально насичені системи збору та обробки технологічної інформації вимагають застосування датчиків, здатних на щось ще крім видачі повідомлень про рівень сигналів або просто про включення-вимкнення елементів обладнання. Удосконалення сучасних електронних пристроїв обумовлено, в першу чергу, високими темпами розвитку мікроелектроніки. Безперервне зниження вартості мікропроцесорних елементів і стрімке зростання їх функціональних можливостей дозволяють вбудовувати ці чіпи в усі менші за розмірами виробі. Саме зі зміною елементної бази електронних пристроїв обробки сигналів первинних перетворювачів пов'язана поява нового покоління датчиків, що отримали назву інтелектуальних.

Термін «інтелектуальні» вживають у вузькому сенсі по відношенню до пристроїв, які за рахунок використання в них переробки інформації набувають нові функціональні можливості. Інтелект у датчиків, як і у людей, проявляється в самих різних формах. Завдання фахівця з автоматизованих систем – вибрати потрібний «розумний» пристрій.

Своїм інтелектом датчики зобов'язані мікропроцесорним технологіям. Мікропроцесор – це мозок датчика, що дозволяє

пристрою «вивчати» умови, в яких він працює. Будучи самонавчальною мікропроцесорною системою, такий датчик здатний обробляти великі обсяги інформації з високою швидкістю. Саме завдяки мікропроцесорам сьогодні у користувача є досить зручні в установці, налаштуванні і застосуванні датчики.

Спробуємо перерахувати більш конкретно, якими функціональними можливостями наділяють розробники пристрої, які можна віднести до класу інтелектуальних датчиків (ІД).

1. Компенсація основних і додаткових похибок. Виділяються три види компенсації:

- компенсація нелінійності;
- компенсація впливів температури;
- компенсація змін в часі, викликана деградацією первинного перетворювача.

При цьому, як правило, вдається в кілька разів зменшити основну і додаткову похибки. Інтелектуальний датчик здатний самостійно підлаштовуватися під умови експлуатації і безперервно регулювати свою роботу з метою досягнення максимальної ефективності.

2. Оцінка достовірності даних. Можливість обробляти дані не тільки вихідного сигналу, а й додаткових параметрів первинного перетворювача, дозволяє проводити безперервну діагностику, відстежуючи несправності і роблячи висновки про достовірність вимірювань. У діагностику входить контроль стабільності об'єкта і стан сенсора, а також відстеження занадто слабого сигналу, що попереджає про небезпеку повної відмови датчика. Користувачі отримують можливість автоматичного виявлення обривів дроту, коротких замикань, невірних налаштувань, відмов датчиків і модулів. Алгоритми діагностики первинних перетворювачів, природно, залежать від їх конструкції.

3. Можливість передачі даних на цифровий інтерфейс зв'язку. Скорочення аналогових ліній і передача інформації в

цифровій формі дозволяють забезпечити незалежність метрологічних характеристик каналу вимірювання від зовнішніх ліній зв'язку та пристроїв передачі даних. Такий підхід усуває необхідність в аналого-цифрових перетворювачах на рівні контролера, полегшує реалізацію гальванічної розв'язки в кожному каналі. Однією з привабливих характеристик інтелектуальних датчиків є можливість підключати до одного кабелю (послідовному каналу) кілька датчиків і звести до мінімуму кількість провідних ліній зв'язку, а в підсумку домогтися більшої надійності системи автоматика, скоротити терміни її розробки, спростити обслуговування.

4. Розширені можливості зв'язку. Найважливішим аспектом впровадження інтелектуальних датчиків є розширення інтерфейсу. Застосування цифрових інтерфейсів дозволяє забезпечувати двосторонній зв'язок датчика з користувачем для гнучкого управління: перенастроювання, калібрування, конфігурації і діагностики на відстані. Віддалене конфігурування включає в себе такі функції, як настройка на об'єкт, вибір режиму. Можливість перенастроювання призводять до уніфікації пристроїв, до того, що кілька різних датчиків замінюються приладом однієї моделі, що дає перевагу як в їх виробництві, так і у вартості обслуговування.

5. Здійснення всього комплексу цифрової обробки сигналу первинного перетворювача. Це дозволяє передавати сигнал безпосередньо в фізичних величинах, тобто в зручному поданні, використовувати керований обсяг вибірки для зменшення впливу випадкових складових, оцінювати часові та спектральні складові сигналу первинного перетворювача, здійснювати цифрову фільтрацію з керованою смугою частот, вибирати оптимальне вікно швидкого перетворення Фур'є при спектральному аналізі.

Розгляд цих функціональних можливостей дозволяє зробити ще один висновок.

Інтелектуальні датчики можуть істотно відрізнятись від того, що ми звикли розуміти під поняттям датчик. Сьогодні це

скоріше спеціалізовані контролери, які отримуючи сигнал від первинного перетворювача (сенсора) тут же займаються його обробкою і здатні ділитися інформацією з іншими інтелектуальними вузлами системи автоматики по цифрових каналах. Єдине, що їх продовжує «ріднити» зі звичайними датчиками, та й то не завжди, це невеликі розміри, так як вони повинні встановлюватися безпосередньо на об'єкті.

Наведемо приклади існуючих і по-справжньому функціонально насичених датчиків. Перерахування широкого спектру їх можливостей має продемонструвати, що дає застосування мікропроцесорної техніки на цьому рівні систем автоматизації. Розгляд наведених прикладів.

В даний час на вітчизняному ринку до розглянутого класу пристроїв можна віднести серію датчиків тиску ДД415 (ТОВ «Общемаш»), які поєднують в собі функції прецизійного вимірювання тиску і безпосереднього управління локальними змінними об'єкта (процесу). Вимірювані середовища: рідина, пара, газ. Датчики цієї серії (рис. 10.1) [33] забезпечують безперервне перетворення в уніфікований струмовий і / або цифровий вихідний сигнал для дистанційної передачі таких вимірюваних величин: надлишкового тиску; абсолютного тиску; розрідження; тиску-розрідження; різниці тисків; гідростатичного тиску.



Рис. 10.1 – Датчик тиску ДД415

Крім основної функції контролю поточного значення вимірюваного тиску і перетворення у вихідний струмовий сигнал, що використовується схемотехніка дозволяє:

- здійснювати безперервну самодіагностику;
- здійснювати зручний контроль і налаштування параметрів датчика за допомогою кнопкової клавіатури і РК-індикатора;
- здійснювати оперативну установку «нуля»;
- одночасну індикацію поточного тиску в встановлених одиницях і у відсотках від діапазону в цифровому та шкальному вигляді;
- виробляти перенастроювання виду вихідного аналогового сигналу з 0-5 В на 4-20 мА і назад;
- включення / вимикання цифрового інтерфейсу RS-485;
- видачу аналогового сигналу одночасно з цифровим виходом;
- забезпечити вісім меж перенастроювання;
- робити настроювання на «зміщену» межу вимірювання;
- робити вибір залежності вихідного струмового сигналу від вхідної величини (лінійно-зростаюча, лінійно-спадна, пропорційна кореню квадратному перепаду тиску);

- робити настроювання часу усереднення вихідного сигналу;
- здійснювати вибір системи вимірювання (СВ, СГС).
- проводити реєстрацію та зберігання інформації у вигляді трендів (графіків) з кроком від 1 хвилини до 3 годин або за подією перевищення або зниження заданого рівня тиску;
- здійснювати управління виконавчими пристроями за двохпозиційним законом (твердотільне реле, відкритий колектор).

В процесі роботи датчик безперервно аналізує опір вимірювального моста, а також значення отриманого вихідного сигналу, визначаючи достовірність даних і сигналізуючи про нештатні ситуації і можливі причини несправностей на рідкокристалічному індикаторі. До переваг приладів даної серії варто віднести можливість перенастроювання датчика в базовому виконанні на будь-який стандартний аналоговий і / або цифровий вихідний сигнал, а також вибір системи вимірювань.

Інтелектуальні датчики температури моделей 3144 і 3244MV належать до відомого сімейства SMART FAMILY інтелектуальних приладів фірми Rosemount. Датчик моделі 3144 є датчиком, що працює з одним сенсором. Датчик моделі 3244MV може одночасно приймати вхідні сигнали від двох сенсорів.

Мікропроцесорна електроніка дозволяє цим датчикам працювати з термоопором, термопарою, омичним і міллівольтовими входами при одних і тих же налаштуваннях електроніки. Крім того, для кожного датчика вказується навколишня температура, яка використовується при роботі, щоб гарантувати максимальну точність датчика і мінімізувати дрейф в широкому діапазоні робочих температур.

Датчик обмінюється цифровою інформацією з комунікатором і системою управління на базі протоколу HART (Highway Addressable Remote Transducer) без переривання вихідного сигналу.

Тип сенсора і конфігурація можуть бути обрані програмним чином з клавіатури комунікатора HART. Крім того, користувач може вибрати найбільш зручну шкалу для зчитування показань в технічних одиницях: Омах, мілівольтах, градусах Фа-ренгейта, Цельсія, Ренкіна або міліампер.

Модуль електроніки складається з електронної плати в герметичному корпусі. Електронні схеми оцифровують вхідний сигнал від сенсора і коректують його з допомогою коефіцієнтів корекції, які обирають з незалежної пам'яті. Вихідний блок електроніки перетворює цифровий сигнал у вихідний сигнал 4-20 мА і підтримує зв'язок з комунікатором HART або керуючою системою фірми Fisher-Rosemount. Додатково можна замовити рідкокристалічний індикатор (РКІ), який вставляється в електронний модуль і показує цифровий вихідний сигнал в технічних одиницях (°F, °C, °R, K, Оми, мілівольтах), відсотках або міліампер, обраних користувачем.

Програмне забезпечення датчиків дозволяє проводити тестування і конфігурацію датчиків за допомогою комунікатора HART, системи управління фірми Fisher-Rosemount або будь-якого іншого хост-комп'ютера, який підтримує комунікаційний протокол HART. Конфігурація складається з налаштування таких робочих параметрів датчика:

- тип сенсора;
- число виводів сенсора;
- точки 4 і 20 мА;
- демпфування;
- вибір технічних одиниць.

Крім перерахованих конфігураційних параметрів, програмне забезпечення датчиків 3144 містить параметри, які не можуть бути змінені користувачем: тип датчика, межі сенсора і версія програмного забезпечення.

Значне поліпшення точності вимірювання температури може бути реалізовано, якщо в датчик ввести константи з калібрувальних характеристик конкретного застосовуваного термоопору і згенерувати в датчику спеціальну характеристичну

криву, яка б відповідала кривій даного сенсора. Ці константи можуть бути запрограмовані при виготовленні, а також введені або змінені довільне число раз в польових умовах за допомогою комунікатора HART.

Наступним прикладом інтелектуальних датчиків є датчик температури TCT11 компанії ТЕКОНІК (рис. 10.2) [33]. Він призначений для вимірювання температури різних газоподібних, сипучих і рідких середовищ. TCT11 вимірює температуру за допомогою чутливого елемента, перетворює вимірювану температуру і видає її значення в цифровому коді по послідовному інтерфейсу RS-485.



Рис. 10.2 – Датчик температури TCT11

Основною перевагою датчиків TCT11 є можливість їх роботи в складі розподіленої системи АСУ ТП на основі єдиної польової мережі RS-485. У такій мережі можуть одночасно працювати до 255 пристроїв, що підтримують протокол T4000, наприклад, модулі аналогового і дискретного введення-виведення для контролерів серій МФК і ТКМ компанії ТЕКОНІК.

Використання TCT11 дозволяє підвищити точність вимірювань і отримати істотну економію на монтажних роботах. Значно полегшується створення систем температурного контролю у випадках, коли утруднена прокладка кабельних трас для традиційних датчиків.

Випускаються чотири модифікації датчика, що відрізняються діапазоном вимірюваних температур. Конструктивно ТСТ11 не відрізняється від звичних температурних датчиків на основі термоперетворювачів опорів або термопар.

Основні технічні характеристики:

- послідовний інтерфейс для передачі інформації – RS-485 (протокол T4000);

- швидкість обміну – від 1 200 до 115 000 біт / с;

- кількість датчиків в одній мережі – до 255;

- дані можуть передаватися в таких форматах:

а) інженерні одиниці – значення температури, представлене у вигляді числа з плаваючою крапкою. Значення +99 999. використовується, якщо виявлено обрив каналу.

б) умовні одиниці – коди, наведені до температурного діапазону (діапазону вимірюваної величини), код 0 відповідає мінімальній межі діапазону, код 16 383 – максимальній межі діапазону. Вимірювання тривають (якщо це можливо) за діапазоном в межах посилання – 1 024 ... 17 408. Значення 0x9 999 використовується, якщо виявлено обрив каналу.

в) відсотки: 0% – мінімальна межа діапазону, 100% – максимальна межа. Значення +999.99 використовується, якщо виявлено обрив каналу.

- наявність вбудованого програмного фільтра (аперіодична ланка або обмеження по швидкості наростання сигналу);

- пригнічення симетричної перешкоди нормального вигляду промислової частоти 50 Гц і амплітудою до 300 мВ;

- поправочні коефіцієнти для коригування показань;

- напруга живлення - 24 В +/- 10%;

- споживана потужність – не більше 0,5 Вт;

- ступінь захисту від впливу води та пилу – IP65 по ГОСТ 14254;

- датчик ТСТ11 стійкий до впливу таких кліматичних і механічних факторів:

а) температура навколишнього повітря від – 40 до +55 °С;

- б) відносна вологість навколишнього повітря від 5 до 95% при температурі +30 °С;
- в) атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа;
- г) вібрація для частот від 5 до 9 Гц з амплітудою зміщення 3,5 мм;
- д) вібрація для частот від 9 до 150 Гц з прискоренням $10 \text{ м}^2 / \text{с}$.

Розглянемо ще один приклад сфери інтелектуалізації датчиків.

Однією з областей застосування індуктивних безконтактних перемикачів (датчиків положення з релейним виходом) є штампувальні преси. Безконтактні перемикачі непогано справляються із завданням визначення наявності деталі в робочій зоні. Однак нерідко коло пов'язаних з виробничим процесом проблем включає не тільки просте виявлення деталі. Системі управління може знадобитися інформація, наприклад, про те, чи та деталь подана, або про те, чи знаходиться деталь в робочій зоні повністю або частково. Вирішити ці завдання можна з та допомогою безконтактних перемикачів, але більш корисні тут будуть пристрої з аналоговим виходом. При відповідній обробці з аналогового сигналу можна витягти масу корисної інформації, наприклад, про профіль деталі.

Ще більші можливості тут зможуть володіти фотоелектричні датчики.

Наприклад, інформація про те, чи та деталь подана в робочу зону преса може зчитуватися за штрих-кодом, про те чи правильно деталь подана в робочу зону можна судити по зміні аналогового сигналу з виходу датчика.

Великий інтерес при використанні інтелектуальних фотоелектричних датчиків обумовлює можливість програмування уставок. Значна частка пов'язаних з фотоелектричними датчиками проблем обумовлена осіданням на об'єктивах цих пристроїв пилу і бруду, що призводить до зменшення освітленості чутливих елементів. Вбудований мікропроцесор здатний безперервно контролювати освітленість,

порівнюючи її з еталонним значенням. Після досягнення освітленістю деякої граничної величини мікропроцесор сигналізує обслуговуючому персоналу про необхідність чищення об'єктивів.

Таким чином, роботи по інтелектуалізації датчиків ведуться досить широко. Завдання виробників датчиків і контроль-но-керуючої апаратури полягає, таким чином, в розробці відповідного інструментарію, який забезпечує впровадження нових сенсорних технологій. Прикладом такої діяльності сьогодні, є зусилля груп розробників стандартів IEEE 1451. Робота ведеться в рамках інституту IEEE і Американського національного інституту стандартів і технологій, і націлена на сприяння поширенню інтелектуальних перетворювачів, і спрощення їх інтеграції.

Стандарти IEEE 1 451 покликані спростити завдання підключення перетворювачів (пристроїв, що поєднують в собі датчик і виконавчий механізм) як до вимірювальних приладів, так і до мереж. Цієї мети розробники збираються досягти шляхом визначення набору одиниць для всіх перетворювачів інтерфейсів, в тому числі і механізмів функціонування самоналагод-жувальних датчиків.

Перш за все, ці стандарти закріплюють вже усталені поняття. Так інтелектуальні датчики визначаються стандартом IEEE 1451 як датчики, які виконують функції понад необхідні для формування правильного уявлення, відображення і передачі вимірюваної величини. До таких функцій відноситься не тільки вимір, нормалізація і корекція сигналу, але і самотестування, а також цифровий інтерфейс. Відмінною особливістю ІД є цифрова обробка сигналу безпосередньо з виходу первинного перетворювача. Це гарантує високу точність і стабільність його характеристик у всіх допустимих діапазонах вимірювань, а також низьку чутливість до зовнішніх перешкод. Польова шина дозволяє одночасно з результатами вимірювання передавати дані для діаг-ностики і моніторингу. Цифрова обробка сигналу і можливість модернізації програмного забезпечення, дозволяють

реалізувати різні функції перетворення контрольованих величин, з подальшим вдосконаленням характеристик і виконуваних функцій датчика. Передача вимірної величини відбувається по послідовному каналу зв'язку (інтерфейс RS-485, протокол Modbus-RTU) в цифровому коді. Вхідний сигнал в автоматичних системах управління технологічними процесами на промислових комп'ютерах може здійснюватися через стандартний COM-порт, або через шину USB. Максимальна довжина лінії зв'язку може досягати 1 500 метрів і залежить від кількості датчиків в мережі, типу застосовуваного кабелю і швидкості передачі даних. Наявність модифікацій з вихідним сигналом 4-20 мА і 0-5 В дозволяє використовувати ІД в складі систем збору інформації з аналоговими каналами або для заміни аналогових датчиків.

Стандарт IEEE 1451.1-1999 «Network Capable Application Processor Information (NCAP) Model» визначає єдину об'єктну модель для підключаються до мережі інтелектуальних перетворювачів і містить специфікації інтерфейсів.

У стандарті IEEE 1451.2-1997 «Transducer to Microprocessor Communication Protocol and TEDS Formats» визначено цифровий двоточковий інтерфейс для підключення модуля інтелектуального перетворювача з цифровим виходом до мікропроцесорного мережного адаптера. Крім того, в стандарті IEEE 1451.2 вперше з'явилася концепція TEDS (Transducer Electronic Data Sheet – електронна специфікація даних перетворювача або електронний паспорт датчика – ЕПД). Забезпечуючі самоідентифікацію вбудовані специфікації TEDS, є, мабуть, найбільш популярними компонентами та ключовими елементами всього сімейства IEEE 1451.

Стандарт IEEE P1451.3 визначає цифрову багатовідвідні шину перетворювача, розраховану на підключення великої кількості фізично розділених датчиків.

В IEEE 1451.4 описується механізм підтримки аналоговими датчиками режиму роботи з самоопису. Цей змішаний інтерфейс складається з традиційного аналогового

каналу для передачі даних датчика і недорогого послідовного цифрового каналу, по якому здійснюється доступ в електронний паспорт датчика TEDS, який знаходиться на самому датчику. За допомогою цих даних датчик визначається і передає свої «паспортні» характеристики системі збору даних, до якої він підключений.

Стандарт IEEE P1451.1 визначає змішаний інтерфейс (рис. 10.3) [33], в якому, поряд зі звичайним сигналом аналогового датчика, використовується недорогий цифровий канал доступу до електронної специфікації TEDS, вбудованої в датчик з метою самоідентифікації. У звичайному режимі роботи вихідний сигнал такого датчика є аналоговим. При надходженні від корис-тувача спеціальної команди датчик починає передавати цифрову інформацію.

Передача цифрових даних здійснюється по тій же парі провідників, за допомогою якої подається напруга живлення і яка використовується для передачі вихідного високочастотного аналогового сигналу. Після закінчення цифрової передачі лінія зв'язку знову підключається до аналогових вихідних ланцюгів датчика.

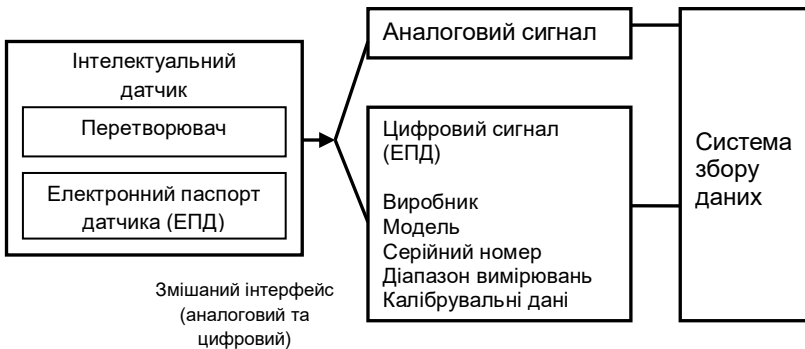


Рис. 10.3 – Змішаний інтерфейс TEDS-датчиків [33]

Реалізація цього стандарту дозволить відмовитися від традиційної практики обліку використання датчиків, а також

істотно знизити припадаючих на один канал питомих витрат, пов'язаних зі збором даних, їх перевіркою та аналізом в багатоканальних випробувальних системах, що застосовуються в промислових і лабораторних умовах.

Стандартом IEEE 1451.4 визначено такий склад інформації, що міститься в специфікації TEDS:

Постійна пам'ять (ПЗУ):

- ідентифікатор виробника,
- код моделі,
- серійний номер,
- дата випуску,
- код типу.

Перепрограмувальна пам'ять (ППЗУ):

- калібрувальні дані (чутливість),
- одиниці виміру,
- еталонна частота,
- дата калібрування,
- інша інформація,
- код місця розташування датчика,
- частота зрізу фільтра нижніх і верхніх частот,
- історія обслуговування,
- примітки.

Призначені тільки для читання дані записані в ПЗУ цифровий мікросхеми. Інші параметри зберігаються в перепрограмувальній пам'яті (ППЗУ) чіпа.

Реалізація системного підходу з TEDS (ЕПД) дає наступні можливості і переваги.

Раніше настройка систем збору даних вимагала ручного введення параметрів датчика, таких як схема підключення, діапазон і чутливість або попереднього прописування усіх цих даних в програмі. Ці дані використовувалися для математичного перетворення вихідних даних датчика в відмасштабовані технічні одиниці. Система, обладнана інтелектуальним датчиком, автоматизує цей процес, зчитуючи його параметри за цифровим каналом з чіпа ЕПД.

Специфікація TEDS дозволяє реалізувати автоматичне конфігурування датчика і спростити його узгодження з іншою електронною апаратурою, так як вся інформація про датчик зберігається в TEDS-пам'яті вбудованої мікросхеми, то відпадає необхідність у створенні окремої бази даних, призначеної для зберігання калібрувальної інформації. Поточні калібрувальні дані завантажуються в TEDS-пам'ять (ППЗУ) вбудованої мікросхеми при калібруванні датчика.

У процесі розгортання звичайної системи з безліччю датчиків значна частка часу, що непродуктивно витрачається, доводиться на зіставлення серійних номерів датчиків з номерами сполучних кабелів і на перевірку правильності всіх з'єднань.

У разі проведення подібних перевірок людиною в міру зростання числа каналів зростає і число помилок.

Завдяки тому, що датчики TEDS самі визначають себе в системі, вже не потрібно вручну стежити за тим, до якого каналу підключений той чи інший датчик. В електронному паспорті датчика передбачений розділ для розміщення інформації користувачів, куди можна записувати такі дані, як фізичне розташування датчика. Таким чином, під час запису рядка «кожух переднього підшипника двигуна» в ЕПД датчика, система збору даних буде визначати фізичне розташування датчика незалежно від каналу, до якого він підключений. Для введення інформації в TEDS-пам'ять датчика на місці можна скористатися зручним ручним програматором. Датчики самі визначають себе в системі і це схоже на технологію Plug & Play, яка застосовується в комп'ютерній техніці.

Оскільки всі параметри, що характеризують пристрій (чутливість, поправочні коефіцієнти і т. п.) можуть записуватися у вбудовану TEDS-пам'ять датчики можна міняти «на льоту», не піклуючись про внесення в систему будь-яких змін. Інтелектуальний вузол самостійно визначить факт заміни датчика і автоматично відрегулює всі необхідні характеристики (автоматичне конфігурування).

Датчики також можуть стежити за своїм розкладом калібрування. Оскільки електронний паспорт датчика зберігає інформацію про дату калібрування і терміни її дії, він може повідомляти системі про необхідність повторного калібрування. При проведенні калібрування ви можете занести нові дані про калібрування і терміни дії назад в мікросхему електронного паспорта датчика [33].

Контрольні питання:

1. Що таке «інтелектуальний датчик»?
2. Перелічіть якими функціональними можливостями наділяють розробники пристрої, які можна віднести до класу інтелектуальних датчиків?
3. Наведіть приклади існуючих і по-справжньому функціонально насичених датчиків.
4. Які основні функції контролю виконуються інтелектуальними датчиками?
5. Завдяки чому при використанні інтелектуальних датчиків не потрібно вручну стежити за тим, до якого каналу підключений той чи інший датчик?

11. ВИКОНАВЧИ МЕХАНІЗМИ

Виконавчі пристрої здійснюють вплив системи автоматичного керування на об'єкт керування. Вони складаються з *малопотужної частини* – перетворювача, підсилювача, та *потужної частини* – потужного перетворювача та вихідного виконавчого механізму.

Виконавчі пристрої характеризуються точністю, робочим діапазоном, швидкістю, габаритами тощо.

Виконавчі механізми бувають:

- *двопозиційні або бінарні: електричні, механічні, гідравлічні, пневматичні (комутатори, перемикачі, контактори, реле);*

- *аналогові: електропривод, гідро і пневмопривод (електроприводи двигуни постійного струму, асинхронні та синхронні двигуни змінного струму, поршневі та мембранні гідро і пневмоприводи.)*

Терміни «виконавчий пристрій» та «виконавчий механізм» інколи вживаються як синоніми.

Далі будемо переважно користуватися терміном «виконавчий пристрій» (ВП), розуміючи під цим силовий пристрій, який призначений для зміни регульовальної дії на об'єкт керування у відповідності з сигналом (командною інформацією), який подається на його вхід від командного пристрою (регулятора, ручного дистанційного задавальника, ЕОМ).

До основних блоків ВП відносяться виконавчий механізм (ВМ) та регульовальний орган (РО), які конструктивно можуть бути реалізовані в одній конструкції, або складатися з блоків, і випускатися індивідуально [34].

В деяких випадках ВП може складатися з одного блоку, який виконує функції виконавчого механізму, як, наприклад, в підсилювачах потужності типу РНТО, РНТТ, У252.

В загальному випадку під виконавчим механізмом розуміють блок ВП, який перетворює вхідний керувальний

сигнал від регулювального пристрою в сигнал, що через відповідний зв'язок здійснює вплив на регулювальний орган, або безпосередньо на об'єкт регулювання.

Регулюючим органом називають блок ВП, за допомогою якого здійснюється регулювальний вплив на об'єкт регулювання.

Крім виконавчого механізму та регулювального органу ВП має ряд додаткових блоків, призначення та способи підключення яких є зрозумілими з блок-схеми (рис.11.1).

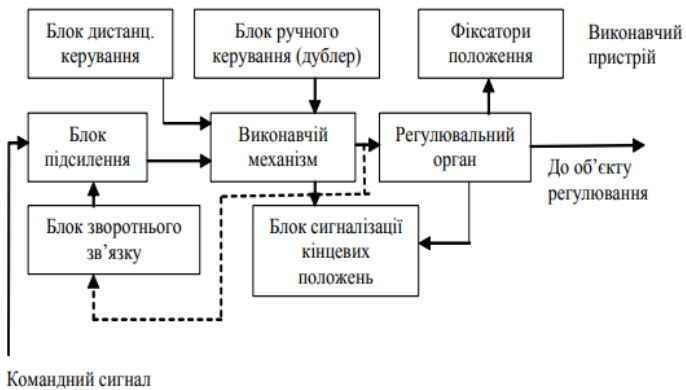


Рис. 11.1 – Блок-схема виконавчих пристроїв

Однією з основних характеристик ВП є величина перестановочного зусилля моменту, який передається вихідним органом виконавчого механізму на регулювальний орган. Ця величина вказується в паспорті і є основною при енергетичних розрахунках та виборі ВП.

За видом енергії, яка створює це перестановочне зусилля (момент), ВМ поділяються на пневматичні, гідравлічні і електричні.

Існують ВМ, в яких використовуються водночас два види енергії: електропневматичні, електрогідравлічні та пневмогідравлічні.

Найбільш розповсюдженими з них є електрогідравлічні ВМ. Вид енергії керувального сигналу може відрізнятися від виду енергії, яка створює перестановочне зусилля.

11.1. Виконавчі механізми та регулювальні органи

Вплив на технологічні процеси як при дистанційному, так і при автоматичному управлінні здійснюється виконавчими механізмами і зв'язаними з ними регулюючими органами. Вони призначені для впливу на виконавчі (регулючі) органи технологічного обладнання (вентилі, клапани, засувки і т.п.) при отриманні імпульсів безпосередньо від вимірювальних перетворювачів або від підсилювачів.

Виконавчі механізми і пристрої (ВМ, ВП) промислових систем автоматики відповідно до ГОСТ 12997-84 входять в четверту функціональну групу виробів державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП) – групу пристроїв використання командної інформації з метою впливу на процес і для зв'язку з оператором. Під виконавчим пристроєм розуміється силовий пристрій, призначення якого полягає в зміні регулюючого впливу на об'єкт управління відповідно до сигналу (командної інформацією), що подається на його вхід від командного пристрою (регулятора, ПК і т.д.).

Виконавчі механізми в системах переробки і використання технологічної інформації призначені для безпосереднього впливу на регульований процес або через регулюючий орган.

Виконавчі механізми обов'язково містять виконавчі серводвигуни різних типів і різної фізичної природи. Крім того, містять також різні датчики, пристрої посилення і переробки інформації, перемикальні пристрої та пристрої зворотного зв'язку.

Виконавчі механізми або сервоприводи в загальному випадку включають в себе ланцюги посилення, перемикачі та виконавчі двигуни.

За видом впливу на стан системи автоматизації виконавчі механізми прийнято поділяти на силові і параметричні.

Силові виконавчі механізми створюють на своєму виході силу або момент, які однозначно визначають відповідне положення робочого органу.

Параметричні виконавчі механізми служать для зміни параметрів, що характеризують даний робочий орган.

Основними визначальними характеристиками виконавчих механізмів є:

- швидкодія;
- точність;
- робочий діапазон;
- смуга робочих частот;
- максимальна корисна потужність;
- максимальне і номінальне навантаження;
- пускове і робоче навантаження;
- потужність, необхідна для управління;
- коефіцієнт корисної дії;
- ресурс роботи.

Якщо говорити про механічні переміщення, то цим вимогам в найбільшій мірі відповідають гідроприводи (поступального, обертального і поворотного рухів). Там, де потрібно особливо висока, «Щелчкова», швидкодія, застосовуються пневматичні і пневмоелектричні приводи.

В електроприводах допоміжних механізмів використовують дво- і трифазні асинхронні нерегульовані двигуни, а також крокові двигуни (КД) і двигуни постійного струму.

У кожному конкретному випадку автоматизації при виборі варіанта виконавчого механізму розробник встановлює свої пріоритети для тих чи інших перерахованих факторів.

Вихідним параметром виконавчих пристроїв в технологічному обладнанні машинобудівних виробництв, як правило, є переміщення того чи іншого робочого виконавчого органу. За характером переміщення, створюваного виконавчим пристроєм, всі ці пристрої можуть бути поділені на приводи поступального, обертального або поворотного руху.

Залежно від фізичної природи використовуваної при цьому енергії кожне з названих раніше виконавчих пристроїв може бути електричним, гідравлічним або пневматичним.

Електричні виконавчі пристрої, в свою чергу, поділяються на виконавчі пристрої, що використовують електричні сер-водвигуни, і виконавчі пристрої, що використовують електро-магніти.

Відповідна класифікація виконавчих пристроїв наведена на рис. 11.2.

На рис. 11.2 [18] з'єднання загальної горизонтальною лінією різних вертикальних класифікаційних ліній позначає, що дані виконавчі пристрої можуть бути всіх зазначених типів.

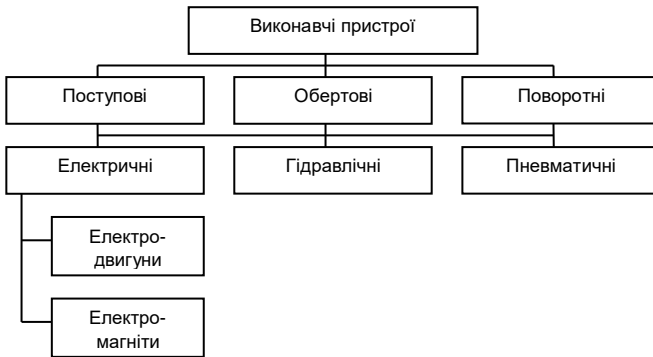


Рис. 11.2 – Класифікація виконавчих пристроїв

Виконавчі механізми можуть бути призначені для виконання найпростіших операцій, наприклад, відкрити-закрити, в цьому випадку їх називають двопозиційними, і для

багатопозиційного і плавного регулювання, тоді їх називають пропорційними. За видом споживаної енергії виконавчі механізми поділяють на електричні, гідравлічні і пневматичні.

Однією з основних характеристик ВП є величина регульованого зусилля (моменту), що передається вихідним органом виконавчого механізму на регулюючий орган. Ця величина зазвичай вказується в паспорті і є основною при енергетичному розрахунку і виборі ВП.

За видом енергії, що створює регульоване зусилля, ВМ підрозділяються на пневматичні, гідравлічні і електричні. Існують ВМ, в яких використовуються одночасно два види енергії: електропневматичні, електрогідравлічні і пневмогідравлічні. Найбільш поширеними з них є електрогідравлічні ВМ. Вид енергії керуючого сигналу може відрізнятись від виду енергії, що створює регульоване зусилля.

У системах пневматичної автоматики для управління регулюючими органами (заслінки на повітроводах вентиляційних систем і установок кондиціонування повітря) застосовуються різні пневматичні виконавчі механізми.

У пневматичних ВМ регульоване зусилля створюється за рахунок дії тиску стисненого повітря на мембрану, поршень або сильфон. Відповідно до цього пневматичні підрозділяються на мембранні, поршневі і сильфонні. Тиск стисненого повітря в пневматичних ВП зазвичай не перевищує 103 кПа.

Для управління механізмами, які потребують великої перестановки зусиль, застосовують гідравлічні сервоприводи двох видів: поршневі з поступальним рухом штока і кривошипні з поворотним важелем. Промисловість випускає кілька типів гідравлічних виконавчих механізмів. Переміщення поршня в гідроприводах відбувається за рахунок різниці тиску рідини, що знаходиться по обидва боки поршня. В якості робочої рідини в гідроприводах використовується головним чином масло.

Пневматичні засоби керування задовольняють найжорсткішим вимогам пожаро- і вибухобезпечності, можуть працювати за наявності агресивних домішок в навколишній

атмосфері і зас-тосовуються для автоматизації виробничих процесів у хімічній, нафтохімічній, харчовій і інших галузях промисловості. В енергетиці пневматичні прилади знаходять застосування в системах управління водопідготовчими установками ТЕС і АЕС.

Із пневматичних приводів у системах автоматизації найбільш широке застосування знайшли мембранно-пружинні і поршневі прилади.

Пристрій мембранно-пружинного приводу (рис. 11.3).

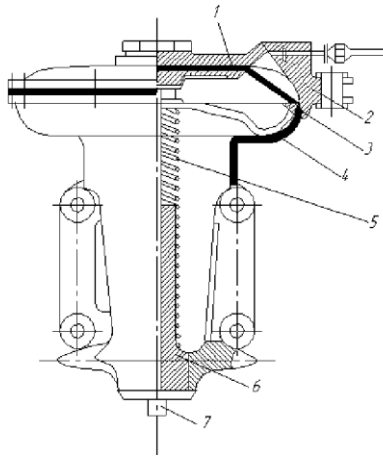


Рис. 11.3 – Пристрій мембранно-пружинного приводу

Робота приводу полягає в наступному. За відсутності тиску повітря в камері над мембраною пружина 5 через направляючий стакан і жорсткий центр притискує мембрану 1 до вис-тупів верхньої кришки 2. Шток 7 займає крайнє верхнє положення. При підвищенні тиску в камері вище атмосферного на мембрану 1 і її жорсткий центр діє сила F , яка дорівнює добутку надмірного тиску P на ефективну площу мембрани.

Ця сила стискає пружину і переміщає рухому систему приводу на величину, при якій сила пружної протидії пружини має дорівнювати силі F . При перевищенні сили стиснення

пружини над силою тиску повітря на мембрану відбувається рух штока вгору. Мембранні виконавчі механізми мають порівняно низьку чутливість, значний люфт і гістерезис, тому вони застосовуються в системах регулювання з відносно невисокими вимогами до якості регулювання.

Для підвищення чутливості швидкодії, збільшення перестановочного зусилля і зменшення гістерезису мембранного ВМ застосовуються позиційні реле (позиціонери), необхідні при роботі клапана в умовах в'язких середовищ, високого тиску регульованого середовища, при значних відстанях між регулятором і виконавчим механізмом.

Принципова схема позиціонера типу ПР-10 показана на рис. 11.4.

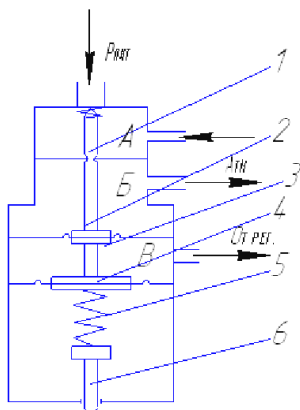


Рис. 11.4 – Принципова схема позиціонера типу ПР-10

Пневматичний сигнал від регулятора надходить в глуху камеру В, утворену мембранами 3 і 4, зібраними в один блок.

Ефективна площа мембрани 4 більше площі мембрани 3, на жорсткий центр якої спирається хвостовик 2 подвійного конічного клапана 1. Останній змінює перетини двох отворів в камері А, створюючи два дроселі змінного перетину: один на подачі повітря живлення в камеру А, а інший на виході повітря з

камери *A* через камеру *B* в атмосферу. Камера *A* з'єднується з мембранно-пружинним приводом виконавчого механізму. Пружина *5* і шток *6* складають пристрій від'ємного зворотного зв'язку. При установці позиціонера на приводі шток *7* входить в отвір верхньої або нижньої кришки і стикається з жорстким центром мембрани.

Позиціонер працює таким чином. При незмінній величині пневматичного сигналу, що поступає від регулятора, мембранний блок нерухомий і тиск в камері *A* не змінюється. При підвищенні тиску повітря від регулятора мембранний блок, внаслідок нерівності ефективних площ мембран *3* і *4*, переміститься вниз і стисне пружину *5*. Одночасно переміщається вниз і клапан *1*, який збільшує надходження повітря в камеру *A* з лінії живлення і зменшує вихід повітря в атмосферу. Зростаючий тиск в камері порушить рівноважний стан приводу і викличе рух його мембрани.

Шток *6* позиціонера, що спирається на мембрану приводу, переміститься вгору і стисне пружину *5*. Коли збільшена сила пружної протидії пружини зрівноважить силу, створену тиском, що підвищився в камері *B*, то переміщення мембранного блоку, клапана *1* і зміна тиску в камері *A* припиняться. Тоді мембранно-пружинний привод прийде в рівновагу.

При зниженні тиску повітря від регулятора позиціонер діятиме у зворотному напрямі. Тиск повітря в лінії живлення позиціонера – 0,25 МПа.

Поршневий наступний привод (рис. 11.5) складається з циліндра *3*, усередині якого розміщений поршень *4* з порожнистим силовим штоком *5*, в порожнині якого розміщена пружина *6*, що використовується для отримання жорсткого зворотного зв'язку в механізмі наступної системи приводу. Пружина сполучена з штоком за допомогою натяжного механізму *7*, що забезпечує плавне регулювання натягу пружини, сполученої шарнірно з жорстким центром

вимірювальної мембрани 2. З іншого боку жорсткий центр мембрани сполучений з відсічним золотником 1.

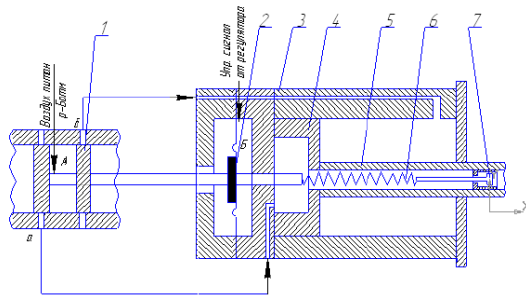


Рис. 11.5 – Поршневий наступний привод

Робота пневмопривода полягає в такому. Сигнал від регулятора, рівний 0,2...1 атм, поступає в порожнину *Б* вимірювальної мембрани і переміщає її жорсткий центр. При цьому переміщується золотниковий пристрій і відкривається вікно «а» або «б». Стиснене повітря з камери *А* через вказані вікна поступає в ліву або праву порожнину поршня і переміщає його.

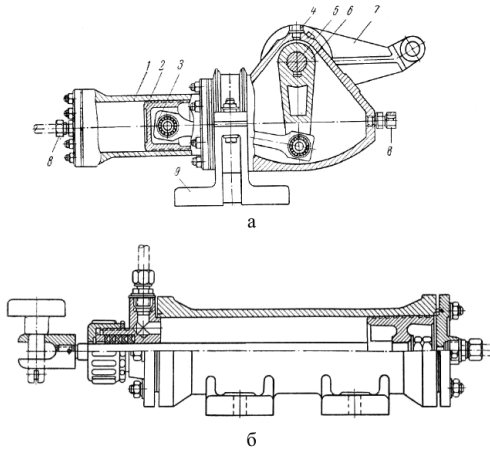
При цьому змінюється натяг пружини зворотного зв'язку 6, пов'язаною з вимірювальною мембраною 3. Вимірювальна мембрана при цьому переміщає золотник і відсікає камеру *А* від вікон «а» або «б». Шток виконавчого механізму при цьому зупиняється.

У гідравлічних ВМ регульоване зусилля створюється за рахунок дії тиску рідини на мембрану, поршень або лопать. Відповідно до цього розрізняють мембранні, поршневі і лопатеві гідравлічні ВМ. Тиск рідини в них зазвичай знаходиться в межах (2,5 ... 20) 10³ кПа. Пневматичні і гідравлічні мембранні і поршневі ВМ поділяються на пружинні і безпружинні. У пружинних ВМ регульоване зусилля в одному напрямку створюється тиском в робочій порожнині ВМ, а в зворотному напрямку – силою пружності стислої пружини. У безпружинних

ВМ перестановочне зусилля в обох напрямках створюється перепадом тиску на робочому органі механізму.

Гідравлічні засоби регулювання використовуються для побудови систем автоматизації парових турбін. Гідравлічні виконавчі механізми поршневого типу розвивають великі переставні зусилля при високій швидкості переміщення виконавчої частини механізму. Для зв'язку керуючої та виконавчої частин вводитьься електрогідравлічний перетворювач. Також знайшли застосування комбіновані електропневматичні системи.

Приклади гідравлічних приладів показані на рис. 11.6.



*Рис. 11.6 – Приводи гідравлічної дії
а – кривошипний привод; б – привод прямого ходу*

Найбільшого поширення набули електричні виконавчі механізми. Вони дозволяють отримати досить великі перестановачні зусилля і високу точність позиціонування. Пневматичні виконавчі механізми мають більш високі значення швидкодії і точності позиціонування. Гідравлічні виконавчі механізми застосовують для забезпечення великих перестановочних зусиль.

При необхідності використовувати пневматичні і гідравлічні ВП останні доповнюються електропневно- і електрогідроперетворювачами. ЕВП поділяються на чотири групи: ЕВП позиційної дії; ЕВП постійної швидкості; ЕВП змінної швидкості; підсилювачі потужності.

Електричні виконавчі механізми (ЕВМ) знаходять переважне поширення в системах автоматизації, які використовують виробу електричної гілки ДСП. За принципом дії поділяються на електродвигунні і електромагнітні; за характером руху вихідного елемента – на прямоходні з поступальним рухом вихідного елемента, поворотні з обертовим рухом до 360° (однооборотні) і з обертовим рухом на кут більше 360° (багатооборотні).

Електричним виконавчим механізмом у системах управління зазвичай називають пристрій, призначений для переміщення робочого органу відповідно до сигналів, які надходять від керуючого пристрою.

Робочими органами можуть бути різного роду дросельні заслінки, клапани, засувки, шибери, направляючі апарати та інші регулюючі та запірні органи, здатні виробляти зміну кількості енергії або робочої речовини, що надходить в об'єкт управління.

При цьому переміщення робочих органів може бути як поступальним, так і обертальним в межах одного або декількох обертів.

Отже, виконавчий механізм за допомогою робочого органу здійснює безпосередній вплив на керований об'єкт.

У загальному випадку електричний виконавчий механізм складається з електропривода, редуктора, вузла зворотного зв'язку, датчика показника положення вихідного елемента і кінцевих вимикачів.

В якості електропривода у виконавчих механізмах використовуються або електромагніти, або електродвигуни із знижуючим редуктором для зниження швидкості переміщення вихідного елемента до величини, що забезпечує можливість

безпосереднього з'єднання цього елемента (валу або штока) з робочим органом.

Виконавчі механізми ЕВП позиційного типу, постійної або змінної швидкості складаються з електродвигуна і редуктора. Такий ВМ за своїми динамічним властивостям від-

повідає інтегруючій ланці, якщо в якості вихідної змінної в ВП прийнятий кут повороту (переміщення).

Внаслідок цього силова частина може формувати інтегральну складову таких законів регулювання, як ПІ і ПІД в структурі регулятора.

Інший спосіб використання ВМ з електродвигунами полягає в охопленні двигуна жорстким зворотним зв'язком, і в цьому випадку ЕВП є пропорційною ланкою (точніше, мало-інерційною), положення вихідного органу якого пропорційно вхідному сигналу, ВМ з коригуючими зворотними зв'язками використовують в ЕВП змінної швидкості.

Якість роботи ЕВП з електродвигунами характеризують такими показниками, як номінальний момент, час повного ходу, вибіг, люфт, гістерезис, імпульсні характеристики, режим роботи.

За видом споживаної енергії виконавчі механізми поділяють на електричні, пневматичні і гідравлічні. Найбільше поширення отримали електричні ВМ. Пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми застосовуються у разі необхідності отримання великої потужності при переміщенні робочого органу.

Електричні виконавчі механізми можуть бути контактними і безконтактними. Пусковим пристроєм контактного виконавчого механізму є реверсивний магнітний пускач, безконтактного – магнітний підсилювач.

У загальному випадку електричні виконавчі механізми складаються з таких основних елементів: реверсивного електродвигуна; редуктора, що знижує частоту обертання вихідного вала; вихідного елемента, що передає зусилля або крутний момент регулюючому органу; додаткових пристроїв (кінцевих вимикачів), що забезпечують зупинку виконавчого механізму в крайніх положеннях; пристроїв зворотного зв'язку для роботи в системах автоматичного регулювання або для дистанційного показу положення вихідного елемента виконавчого механізму; штурвал ручного привода (деякі модифікації).

Параметри сигналів зв'язку регулюючих блоків, пристроїв управління і виконавчих механізмів стандартизовані. Найбільш поширеними типами виконавчих однооборотних механізмів є ПР, ДР, ВМ та інші. Виконавчі механізми типів ДР, ПР призначені для роботи з поворотними або поступальними клапанами для відкриття або закриття їх робочого перетину. Розглянемо будову і принцип роботи приводу пропорційної дії (ПР) (рис. 11.7). Також на рис. 11.7 наведені креслення таких приладів.

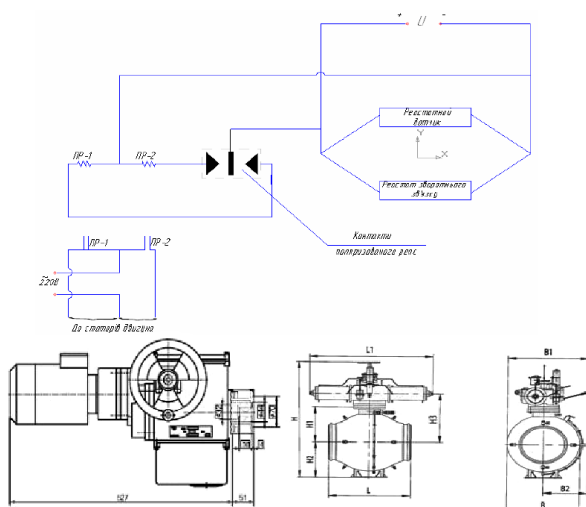


Рис. 11.7 – Привод пропорційної дії

У приводі є два електродвигуни, ротори яких жорстко посаджені на загальний вал. Статори змонтовані так, що їх поля обертаються в протилежних напрямках. Для зміни напрямку обертання до мережі підключають інший статор двигуна. Підключення одного або другого статора двигуна залежить від знаку розбалансу, що знімається з реостата датчика.

Реостатний датчик входить в електричну схему балансного реле БР-3, яке управляє виконавчими механізмами, до схеми яких входить реостат зворотного зв'язку. Реле працює

таким чином: при рівновазі мостової вимірювальної схеми, утвореної опорними, поляризованими реле, а також вторинні реле ПР-2 і ПР-1, знеструмлені. При відхиленні регульованого параметра від заданого значення движок реохорда датчика переміститься в ту або іншу сторону, рівновага моста порушиться і по обмотці 1-1 поляризованого реле потече струм. Залежно від напрямку струму включається лівий або правий контакт поляризованого реле, який подає напругу на реле ПР-1 або ПР-2, через контакти яких напруга поступає на один із статорів приводу.

Дія виконавчого механізму продовжується до тих пір, поки пов'язаний з ним движок реохорда зворотного зв'язку не приведе мостову схему в рівновагу.

Однооборотні виконавчі механізми типу «МЭО» (рис. 11.8,а) випускаються в різних модифікаціях, і розрізняються за номінальним крутильним моментом на вихідному валу та номінальним часом повного ходу валу.

Разом з виконавчими механізмами типу МЭО широке застосування отримали однооборотні електричні механізми «КДУ». Загальний вид однооборотного електричного механізму типу КДУ показаний на рис. 11.8,б.

Приклади багатооборотних (в) та поступальних (г) електричних механізмів також показані на рис. 11.8.

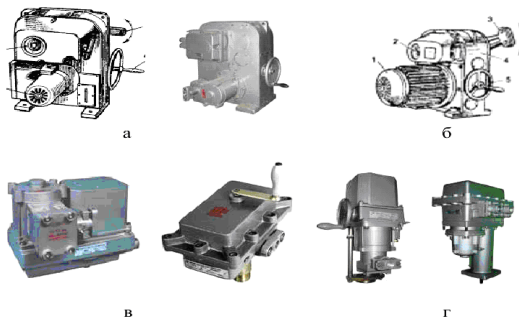


Рис. 11.8 – Приклади багатооборотних (в) та поступальних (г)

електричних механізмів

Разом з виконавчими механізмами типу МЕО широке застосування отримали однооборотні електричні механізми «КДУ». Загальний вид однооборотного електричного механізму типу КДУ показаний на рис. 11.8,б.

Приклади багатооборотних (в) та поступальних (г) електричних механізмів також показані на рис. 11.8.

Контрольні питання:

1. Які бувають виконавчі механізми?
2. Що відносять до основних блоків ВП?
3. Як поділяються ВМ за видом енергії?
4. Наведіть основні визначальні характеристики виконавчих механізмів.
5. Класифікація виконавчих пристроїв
6. За рахунок чого створюється регульоване зусилля у пневматичних ВМ?
7. За рахунок чого створюється регульоване зусилля у гідравлічних ВМ?
8. Як поділяються електричні виконавчі механізми за принципом дії?
9. Що, зазвичай називають електричним виконавчим механізмом у системах управління?
10. Як поділяють виконавчі механізми за видом споживаної енергії?

12. ПІДСИЛЮВАЧІ

Сигнал, що зображує вихідну величину того або іншого датчика параметра виробничого процесу, як і сигнал, що поступає з засобів ручного введення, у більшості випадків є за своєю фізичною природою електричним, хоча іноді буває і гідравлічним, і пневматичним, і механічним.

Для проведення подальшої обробки або для використання в різного роду виконавчих механізмах цей сигнал повинен піддатися або підсилению, або послабленню. Пристрій, що служить для підсилення сигналу, що поступає на його вхід, називається **підсилювачем**, а для послаблення – **аттенюатором**.

Для роботи підсилювачів необхідне додаткове джерело енергії. Залежно від виду енергії допоміжного джерела підсилювачі діляться на:

- електронні;
- електромагнітні;
- електромашинні.

Неелектричні підсилювачі поділяють на:

- механічні;
- пневматичні;
- гідравлічні.

Підсилювачі є одним з основних структурних елементів автоматики. У системах автоматики підсилювачі збільшують потужність вхідного сигналу, оскільки сигнали датчиків, як правило, мають потужність недостатню, щоб привести в дію виконавчий елемент. В деяких випадках одночасно з посиленням вхідного сигналу в підсилювачі здійснюється і якісне перетворення сигналу: постійний струм перетвориться в змінний, змінний – в постійний і т. д.

Найбільш важливими характеристиками підсилювачів є: коефіцієнт підсилення, тобто відношення вихідного сигналу до вхідного сигналу; амплітудно-частотна характеристика, тобто

залежність коефіцієнта підсилення від частоти вхідного сигналу; статична характеристика, тобто залежність між вихідним і вхідним сигналом у статичному (сталому) режимі.

Основним видом підсилювачів систем автоматики є електричні, які залежно від фізичного принципу, встановленого в основу процесу підсилення, можуть бути електронними, іонними, магнітними, електромеханічними, діелектричними й ін.

У електронних підсилювачах в якості підсилювального приладу використовують електронні лампи, транзистори, тиристори, в іонних підсилювачах – тиратрони. Підсилювачі на електронних лампах і тиратронах майже не застосовуються, оскільки вони істотно поступаються за довговічністю, надійністю, ККД, габаритами, стійкістю до механічних дій транзисторних і тиристорних підсилювачів.

До електромеханічних підсилювачів відносяться електромашинні підсилювачі і електромагнітні реле. Електромашинні підсилювачі зараз застосовуються рідко, оскільки поява потужних тиристорів, здатних перемикає струми до декількох тисяч ампер, дозволяє створювати досконаліші підсилювачі з вихідною потужністю до десятків кіловат.

Електромашинні підсилювачі (зважаючи на наявність в конструкції контактів, що труться, між щітками і колекторами) не відповідають сучасним вимогам по надійності і довговічності, мають малий ККД, великі габарити і вагу.

Електромагнітні реле, не дивлячись на порівняно невисоку надійність, довговічність і обмежену швидкодію, у ряді випадків успішно конкурують з транзисторними і тиристорними підсилювачами. Вони дозволяють істотно спростити схему підсилювача, зменшити габарити і масу апаратури, підвищити її стабільність за відношенням до змін навколишньої температури і радіоактивного випромінювання, зменшити дрейф вихідного сигналу.

Широко застосовуються в системах автоматики комбіновані підсилювачі, які можуть складатися з двох-трьох і

більш типів підсилювачів. Комбіновані підсилювачі проектуються з таким розрахунком, щоб відбувалося поєднання переваг, властивих кожному типу підсилювачів окремо. Найбільше поширення набули транзисторно-магнітні, транзисторно-тиристорні, транзисторно-електромагнітні комбіновані підсилювачі.

Залежно від опору навантаження, що підключається до підсилювача, розрізняють підсилювачі потужності і підсилювачі напруги.

Підсилювачі потужності працюють на навантаження з опором від одиниць Ом до декількох сотень Ом і створюють в ній значний струм.

Підсилювачі напруги працюють на навантаження з опором від декількох КОм до десятків МОм. Підсилювачі напруги звичайно використовують для підсилення слабких сигналів, створюваних на виході датчиками і схемами порівняння в замк-нутих системах автоматики.

У *багатокаскадних підсилювачах* перші каскади найчастіше є підсилювачами напруги, а кінцевий каскад – підсилювачем потужності. Як підсилювачі напруги зараз широко використовуються операційні підсилювачі в інтегральному виконанні, відмінні високою надійністю і стабільністю параметрів.

За родом підсилюючих сигналів розрізняють два типи підсилювачів: підсилювачі гармонійних сигналів і підсилювачі імпульсних сигналів.

Гармонійні підсилювачі служать для підсилення періодичних сигналів різної форми, зміна яких в часі відбувається порівняно повільно.

Імпульсні підсилювачі служать для підсилення імпульсних періодичних і неперіодичних сигналів різної форми. Імпульсні підсилювачі повинні мати високу швидкодію, що дозволяє без істотних спотворень відтворювати на виході фронти підсилюючих імпульсів.

Гармонійні підсилювачі по смузі підсилюваних частот діляться на підсилювачі постійного струму і підсилювачі змінного струму.

Підсилювачі постійного струму – призначені для підсилення сигналів з частотою, починаючи від нуля і до вищої робочої частоти. Вихідний сигнал в таких пристроях пропорційний сумі постійної і змінної складових вхідного сигналу.

Підсилювачі змінного струму – підсилюють сигнал в діапазоні частот, починаючи з нижчої, але більшої нуля і, до вищої робочої частоти. Вихідний сигнал пропорційний тільки змінній складовій вхідного сигналу.

В залежності від частоти підсилюючих сигналів підсилювачі змінного струму діляться на підсилювачі низької частоти (ПНЧ) і підсилювачі високої частоти (ПВЧ) [35].

Залежно від ширини смуги підсилюючих частот підсилювачі змінного струму діляться на виборчі, підсилюючі сигнали у вузькій смузі частот – від декількох герц до декількох десятків герц; смугові, підсилюючі сигнали в смузі частот до де-кількох кілогерц; широкосмугові, підсилюючі сигнали в широкій смузі частот – до декількох мегагерц.

До числа загальних показників, що характеризують будь-які підсилювальні пристрої незалежно від їх фізичної природи, передусім відноситься коефіцієнт посилення.

Для підсилювачів різної фізичної природи під коефіцієнтом посилення K_y розуміють відношення усталеного значення величини сигналу $U_{вих}$ на виході підсилювача до усталеного значення величини сигналу $U_{вх}$ на його вході. Ця величина визначається залежністю:

$$K_y = U_{вих} / U_{вх}.$$

Оскільки у сучасних підсилювачів коефіцієнт посилення може досягати декількох тисяч, для скорочення масштабу часто застосовують логарифмічний коефіцієнт посилення, вимірюваний в децибелах, дБ.

За означенням:

$$K = 20 \lg(U_{вих} / U_{вх}) = 20 \lg K_y.$$

Якщо заданий K в дБ, то можна знайти відповідний K_y , і навпаки.

Існує аналогія між процесами, що відбуваються в лінійних електричних колах, і процесами, що відбуваються в лінеаризованих гідравлічних і пневматичних колах, а також в лінійних механічних системах. Тому прийнято говорити про загальні характеристики підсилювачів, вживаючи термінологію, що відноситься до лінійних струмових кіл.

Розрізняють підсилювачі потужності, які працюють при великому струмі навантаження і, отже, при малому вхідному опорі цього навантаження, і підсилювачі напруги, які працюють при малому струмі навантаження і, отже, при великому вхідному опорі цього навантаження, близькому до повного розриву.

У підсилювачах завжди є ті або інші реактивні елементи, такі як місткість і індуктивність. Внаслідок наявності подібних реактивних елементів фаза вихідного сигналу підсилювача не співпадає з фазою вхідного сигналу.

Зсув фаз для різних гармонійних частот, що складають відповідно до перетворення Фур'є будь-який сигнал, виявляється різним. Тому в кожен момент сума частот на виході не буде пропорційною сумі частот на вході, що становлять початковий сигнал на вході. Це призводить до фазових спотворень, що вносяться підсилювачем.

Підсилювачі характеризуються різними коефіцієнтами підсилення за струмом, напругою і потужністю. Ці коефіцієнти

дорівнюють відношенню рівнів відповідних сигналів на вході і виході підсилювача.

Слід розрізняти коефіцієнт підсилення за потужністю і ККД підсилювача. ККД підсилювача, η_y дорівнює відношенню потужності вихідного сигналу до потужності живлення, а не до потужності вхідного сигналу.

Чутливість підсилювача за струмом, напругою або за потужністю – це мінімальне значення відповідних величин, найменша зміна сигналу на виході підсилювача.

Динамічний діапазон D_d підсилювача за струмом, напругою або потужністю визначається як відношення відповідного максимального вхідного сигналу до мінімального, при якому спотворення не перевищують допустимого значення. Динамічний діапазон підсилювача не може бути менше динамічного діапазону його вхідного сигналу.

Частотна характеристика підсилювача є залежністю коефіцієнта підсилення цього підсилювача від частоти підсилюваного сигналу. Частота відкладається в лінійному або в логарифмічному масштабі по осі X , а на осі Y відкладається в лінійному масштабі коефіцієнт посилення на цій частоті K . Часто K відкладається в дБ.

В ідеальному підсилювачі частотна характеристика є горизонтальною прямою в усьому діапазоні посилюваних частот від f_0 до f_{\max} . Реальні підсилювачі завжди характеризуються зменшенням підсилення на нижчих і вищих частотах (мають так званій завал частотної характеристики). Зазвичай вважають допустимим зниження коефіцієнта підсилення за потужністю удвічі в порівнянні з максимальним. Для кіл електричного струму потужність пропорційна квадрату сили струму. Тому двократне зниження потужності пропорційне зниженню коефіцієнта посилення по струму в $\sqrt{2/2}$ разів, що складає приблизно 0,707, діапазон частот, в якому коефіцієнт підсилення складає не менше 0,707 від максимального

коефіцієнта підсилення, називається смугою пропускання цього підсилювача $D_{\text{ч}}$. Приклад частотної характеристики підсилювача наведений на рис. 12.1.

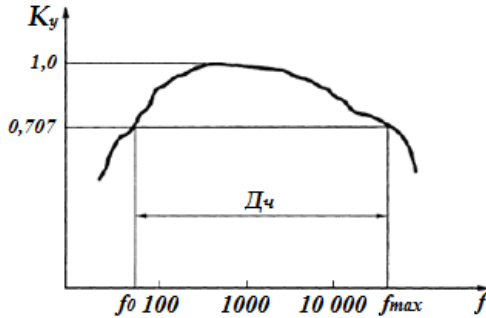


Рис. 12.1 – Частотна характеристика підсилювача

Величина частотних спотворень M , дБ, визначається як відношення коефіцієнта підсилення на середній для смуги пропускання частоті $f_{\text{сер}}$ до коефіцієнта підсилення на цій частоті. Це відповідає співвідношенню $M = 20 \lg(K_{\text{сер}} / K_f)$. Очевидно, що для ідеального підсилювача, коли в усій смузі пропускання коефіцієнти підсилення на будь-якій частоті залишаються постійними і рівні між собою, величина частотних спотворень M , дБ, дорівнює нулю.

Залежно від виду підсилюваного сигналу, що визначає сферу застосування того або іншого підсилювача, усі підсилювачі підрозділяються таким чином.

Гармонійні підсилювачі призначені для підсилення періодичних сигналів, складові яких змінюються порівняно повільно. Прикладом подібних підсилювачів можуть служити магнітофонні підсилювачі для посилення коливань звукової частоти.

Імпульсні підсилювачі призначені для посилення імпульсних, періодичних і неперіодичних сигналів. Прикладом подібних підсилювачів можуть служити комп'ютерні і телевізійні під-силювачі, підсилювачі схем автоматики і телемеханіки.

Підсилювачі постійного сигналу призначені для посилення постійного сигналу. Вихідний сигнал в таких підсилювачах пропорційний сумі постійною і змінною складових вхідного сигналу.

Підсилювачі змінного сигналу призначені для посилення сигналу в смузі частот від нижчої частоти $f_H > 0$ до вищої частоти f_B . Вихідний сигнал в таких підсилювачах пропорційний тільки змінній складовій вхідного сигналу.

У смузі частот підсилюваних сигналів виділяють підсилювачі низької частоти і високою частот.

За характером частотної характеристики підсилювачі підрозділяються на резонансні і смугові. Резонансні підсилювачі мають пік коефіцієнта підсилення на деякій резонансній частоті, яка визначається зазвичай резонансною кривою коливального контуру або коливального елемента, включеного паралельно.

Залежно від ширини смуги частот, на яких відбувається резонанс посилення, підсилювачі поділяють на вузькосмугові і широкосмугові.

Контрольні запитання:

1. Залежно від виду енергії допоміжного джерела підсилювачі діляться на?
2. Пристрій, що служить для підсилення сигналу, що поступає на його вхід, називається *підсилювачем*, а для послаблення – *аттенюатором*?
3. Найбільш важливими характеристиками підсилювачів є?
4. Основним видом підсилювачів систем автоматики є електричні?
5. За характером частотної характеристики підсилювачі підрозділяються на резонансні і смугові?

6. Як діляться підсилювачі залежно від виду енергії допоміжного джерела?
7. Для чого використовують імпульсні підсилювачі?
8. Для чого використовують підсилювачі постійного струму?
9. Для чого використовують гармонійні підсилювачі?

13. РЕЛЕЙНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

У системах автоматики широко застосовуються елементи і пристрої дискретного принципу дії. Серед цих пристроїв однією з найбільш великих груп є реле. У системах управління і регулювання енергетичних електричних і енергомеханічних потоків енергії релейні елементи застосовуються не тільки як проміжні і підсилювальні пристрої автоматики, а також вони часто використовуються як кінцеві вихідні елементи цих систем. В цьому випадку релейні елементи виконують функції виконавчих механізмів і називаються релейними виконавчими механізмами (РВМ). У даній лекції розглядаються лише ті релейні елементи, які використовуються в системах автоматики в якості РВМ. Їх основні види приведено на рис. 13.1.

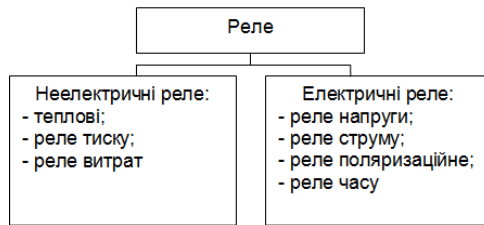


Рис. 13.1 – Класифікація реле

У неелектричному реле вхідні величина неелектричних характеру: температура, тиск, витрата, рівень, швидкість і т.д.

У зв'язку з широким впровадженням напівпровідникової інтегральної техніки область застосування електромеханічних пристроїв значно звузилася, але загальна кількість використовуваних реле з року в рік зростає, причому в сільськогосподарській автоматичі вони продовжують залишатися основними елементами. Це пояснюється тим, що електромеханічні пристрої в порівнянні з безконтактними мають ряд унікальних властивостей:

- повна відсутність гальванічного зв'язку між вхідними та вихідними сигналами;

- можливість комутації як постійних, так і змінних струмів;
 - допустимість значних перевантажень в ланцюзі контактів, як по току, так і по напрузі;
 - малі втрати потужності в контактному переході;
 - нескінченне ставлення опорів контакту в розімкнутому і замкнутому станах;
 - незалежність від впливу електричних і магнітних полів;
 - нечутливість до температурних перевантажень;
 - висока електрична міцність;
 - простота в обслуговуванні і експлуатації;
 - значно низька вартість, ніж у інших типів реле і т. д.
- Класифікація електричних реле за принципом їх дії приведена на рис. 13.2.



Рис. 13.2 – Класифікація електричних реле за принципом дії [36]

Реле є найбільш поширеними елементами різних технічних засобів АСУ ТП. За принципом дії їх поділяють: на електромагнітні, магнітоелектричні, електродинамічні, індукційні, феромагнітні, електронні, іонні, електротеплові та резонансні.

Електромагнітне реле реагує на силу струму, що проходить по обмотці, магнітне поле якої викликає притягання феромагнітного якоря або сердечника з контактами.

На рис. 13.3 показаний загальний принцип роботи електромагнітного реле.

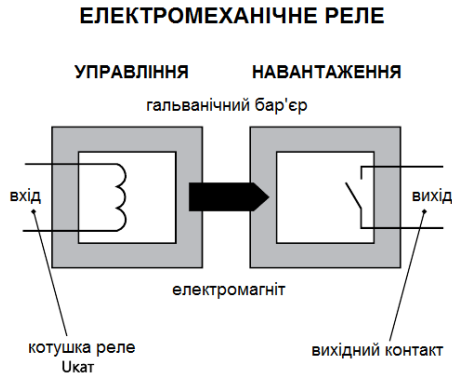


Рис. 13.3 – Загальний принцип роботи електромагнітного реле

У даний час набули поширення такі типи реле:

- **електромеханічні (електромагнітні) реле**, в яких електричними контактами управляє електромагніт з штовхачем;
- **герконові реле**, в яких магнітне поле котушки управління безпосередньо управляє контактами, виконаними з феромагнітного сплаву;
- **соленоїдні реле**, в яких вся механічна конструкція виконана у вигляді соленоїда з рухомим сердечником – це, як правило, дуже потужні реле або контактори;
- **реле з обертовим ротором**, що нагадують по конструкції крокові електродвигуни (ці реле використовуються там, де потрібна робота при виключно сильних вібраціях).

Практичний інтерес для інженерів представляють в основному електромеханічні і герконові реле, інші досить екзотичні. Потужні соленоїдні реле належать в основному до класу контакторів, тобто особливо потужних реле з мостовим

контактом, що розривають ланцюг управління одночасно в двох точках. Герконові реле застосовують для комутації дуже слабких сигналів, наприклад, у вимірювальній техніці, але і там вони активно витісняються електромагнітними реле.

До найбільш екзотичних, але таких, що все ще застосовуються в сучасній техніці реле можна віднести такі пристрої, як:

- теплові реле, в яких елементом затримки включення або виключення є біметалічна пластина;

- крокові реле, де ярк електромагніту штовхає шестерню з храповиком, дозволяючи створювати перемикач на кілька положень;

- резонансні реле, де вбудований в реле «камертон» включає контакти при подачі на котушку сигналу змінного струму певної частоти (такі реле були основою телемеханіки в 30-х і 40-х роках).

За будовою виконавчого елемента реле поділяються на контактні і безконтактні.

Контактні реле впливають на керований ланцюг за допомогою електричних контактів, замкнутий або розімкнутий стан яких дозволяє забезпечити або повне замикання, або повний механічний розрив вихідний ланцюга.

Безконтактні реле впливають на керований ланцюг шляхом різкої (стрибкоподібної) зміни параметрів вихідних електричних ланцюгів (опору, індуктивності, ємності) або зміни рівня напруги (струму).

Основні характеристики реле визначаються залежностями між параметрами вихідний і вхідний величини.

Розглянемо бінарний виконавчий механізм. Електромагнітне реле – складається з електромагніта, по обмотці якого протікає струм керування, і контактів, що механічно переміщуються під дією магнітного поля, створеного електромагнітом, замикаючи чи розмикаючи електричне коло виконавчого пристрою (рис. 13.4, 13.5).

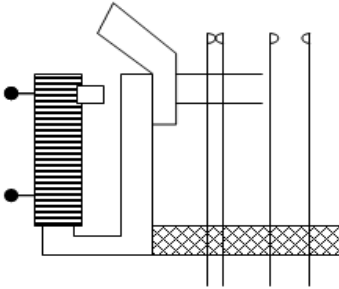


Рис. 13.4 – Електромагнітне реле

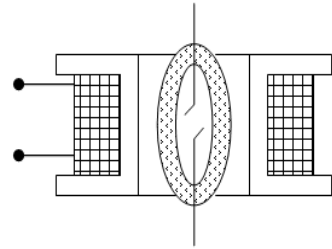


Рис. 13.5 – Малогабаритне безякірне електромагнітне реле-геркон

Магнітоелектричне реле по влаштуванню аналогічно магнітоелектричному вимірювальному приладу. Обмотка реле виконана в формі рамки і поміщена в поле постійного магніту. Рамка, коли по ній проходить струм, повертається, долаючи опір пружини, і управляє електричними контактами. Реле працює на постійному струмі.

Електродинамічне реле за принципом дії подібно магнітоелектричному, але в ньому магнітне поле створюється спеціальною обмоткою збудження, яка розміщена на магнітодроті. Реле працює як на постійному, так і на змінному струмі.

Індукційне реле працює за принципом взаємодії змінного магнітного потоку, створюваного обмоткою реле, і струму, який індукуює в рухомому диску, циліндрі або короткозамкненій рамці. Індукційні реле працюють тільки на змінному струмі. Вони мають одну або дві обмотки, в які надходять вхідні сигнали. Реле знаходять широке застосування в пристроях автоматичного захисту електроустановок в якості реле потужності, фази, струму і частоти.

Феромагнітне реле реагує на зміну магнітних величин (магнітного потоку, напруженості магнітного поля) або

магнітних характеристик феромагнітних матеріалів (магнітної проникності, залишкової індукції і т.п.).

Електронні та іонні реле реагують безпосередньо на силу струму або на значення напруги, під дією яких відбувається стрибкоподібна зміна провідності електронних або іонних приладів.

Електротеплові реле реагують на зміну теплових величин (температури, теплового потоку).

Резонансні реле використовують явище резонансу в електричних коливальних системах і застосовуються в частотних пристроях захисту та телемеханіки.

13.1. Ієрархія електромагнітних реле по потужності контактів

На рис. 13.6 [37] представлені області потужностей, комутованих контактами електромагнітних реле. Для зручності термінології все реле в залежності від здатності комутувати певні потужності віднесені до трьох категорій: *сигнальні реле*, *потужні реле і контактори*. Для уніфікації можна вважати, що сигнальні реле комутують активні навантаження при робочих струмах до 1 ... 2 А.

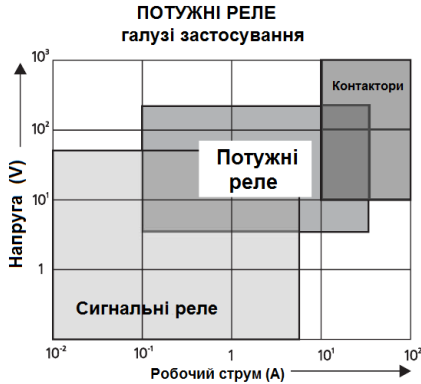


Рис. 13.6 – Контакти потужних реле оптимізовані для комутації струмів в діапазоні від 0,1 до 30 А

Основною областю застосування сигнальних реле є апаратура зв'язку і телекомунікацій, вимірювальна техніка та малопотужна інтерфейсна схемотехніка.

Потужні реле здатні комутувати потужні активні навантаження (до 15 ... 25 А при 250 ... 380 VAC) й індуктивні навантаження невеликої потужності, зазвичай до 200 ... 500 VA.

Контакторам відводиться роль комутаторів потужних індуктивних навантажень з потужністю від сотень ватів до мегават, основним призначенням контакторів є управління електродвигунами.

За усталеною міжнародною класифікацією навантаження потужних реле обмежена струмом 30 А. Тут слід дистанціюватися від автомобільних реле, контакти яких призначені для роботи тільки з низьковольтними ланцюгами 12 VDC (руйнівний вплив електричної дуги при таких напружених майже не проявляється), що дає можливість виробляти мініатюрні автомобільні реле з контактами на струм до 50 А.

Реле для установки на друкованих платах розраховані на струм максимум 16 А, але так звані промислові реле випускаються на струми контактів до 25 ... 30 А. Такі потужні реле по конструкції залишаються ще в класі електромагнітних реле (пружинний контакт з комутацією в одній точці), але за

габаритами і ціною наближаються до малопотужних контакторів.

Як мініатюрні реле для друкованих плат, так і потужні промислові реле забезпечуються панельками для монтажу на рейках DIN в електротехнічних шафах, де традиційним способом з'єднання є гвинтовий контакт. Якщо реле має встановлюватися на друковану плату, але ресурс реле менше, ніж запланований ресурс роботи всього електронного вузла, то в розпо-рядженні конструкторів є панельки для установки на друковану плату.

Такі панельки дозволяють замінювати реле в устаткуванні без зміни всієї електроніки, що набагато економічніше.

Незалежно від конкретної конструкції і технології виробництва все типові властивості потужних реле можна розглядати, застосовуючи загальні математичні і технічні моделі.

13.2. Конструкція і принцип роботи реле

Конструкції потужних мініатюрних і стандартних промислових реле істотно розрізняються, але є ряд обов'язкових загальних елементів, а саме:

- корпус реле (хоча зустрічаються реле взагалі без корпусу, так званого відкритого типу);
- котушка реле, що представляє собою сердечник і обмотку на цьому осерді;
- штовхач, керуючий контактними групами;
- контактні групи, що складаються з нерухомих і рухомих контактів;
- висновки реле, тобто висновки котушки і контактних груп.

В сучасних реле все ізолюючі елементи виконані з пластмас, де панують термопласти, хоча часто зустрічаються і фенопласти.

На рис. 13.7 спрощено показана конструкція реле у вигляді котушки з штовхачем. Конструкція настільки проста, що робота реле майже не вимагає пояснень:

- обмотка реле розміщується на сердечнику і до обмотки підключають джерело напруги, що управляє або струму;

- при протіканні по обмотці струму достатньої величини штовхач притягається до сердечника електромагніту;

- штовхач механічно впливає на контакти і розтягує пружину, що виконує роль поворотного механізму (якщо контакти реле зроблені з пружного матеріалу, то поворотною пружиною служать самі контакти);

- контакти поділяються на нерухомі і рухомі, утворюючи нормально замкнуті (NC) або нормально розімкнуті (NO) групи контактів;

- при впливі на контактні групи здійснюється розмикання NC контактів і замикання NO контактів.

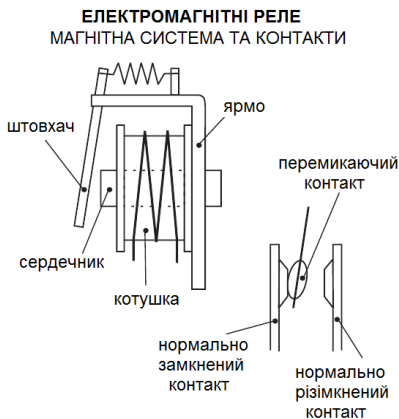


Рис. 13.7 – Дуже спрощена конструкція реле

Магнітна система і контактні групи реле розміщуються в корпусі, що захищає котушку і контакти від зовнішніх механічних впливів і забруднень.

Корпус реле складається з:

- основи, на якій зібрана магнітна система і контактні групи, через основу виведені назовні контакти для приєднання реле до зовнішніх пристроїв;

- кришки і герметичної прокладки (герметичній заливки).

Отже, електромагнітне реле складається з декількох функціональних вузлів, показаних на рис. 13.7, а на знімку рис. 13.8 можна розглянути всі вузли усередині сучасного мініатюрного реле [37].

РЕЛЕ В ПРОЗОРОМУ КОРПУСІ

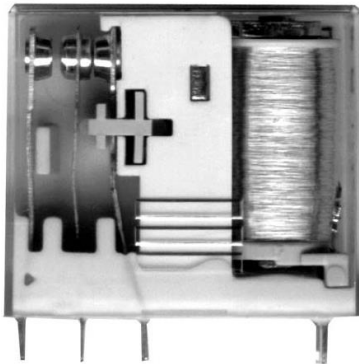


Рис. 13.8 – Прозорий корпус дозволяє побачити всі елементи конструкції: котушку, штовхач і контактну групу

Прозорий корпус реле дозволяє побачити котушку, штовхач і контактну групу, змонтовані на пластмасовій основі і поміщені в прозорий герметичний корпус.

Тільки надійна спільна робота всіх елементів конструкції забезпечує надійну роботу і необхідні технічні параметри реле.

Реле зазвичай складається з трьох основних функціональних елементів: сприймаючого, проміжного і виконавчого [38].

Сприймаючий (первинний) елемент сприймає контрольовану величину і перетворює її в іншу фізичну величину.

Проміжний елемент порівнює значення цієї величини із заданим значенням і при його перевищенні передає первинне вплив на виконавчий елемент.

Виконавчий елемент здійснює передачу впливу від реле в керовані ланцюга. Всі ці елементи можуть бути явно вираженими або об'єднаними між собою.

Сприймаючий елемент в залежності від призначення реле і роду фізичної величини, на яку він реагує, може мати різні виконання, як за принципом дії, так і за влаштуванням. Наприклад, в реле максимального струму або реле напруги сприймаючий елемент виконаний у вигляді електромагніту, в реле тиску – у вигляді мембрани або сильфона, в реле рівня – у виді поплавка і т.д.

13.3. Параметри реле і контактів

Незважаючи на відмінності в принципі дії і конструкції, реле характеризуються рядом загальних параметрів, найважливіші з яких наведені нижче.

Параметр спрацювання – мінімальне значення вхідного сигналу, при якому відбувається спрацювання реле, тобто перемикання його контактів. Електричні реле випускають на струми спрацювання від десятків мікроампер (електронні реле) до десятків ампер (електромагнітні реле).

Параметр відпускання – максимальне значення вхідного сигналу, при якому відбувається повернення реле в початковий стан. Параметри спрацювання і відпускання реле пов'язані між собою коефіцієнтом повернення, який дорівнює відношенню

параметра відпускання до параметру спрацьовування. Коефіцієнт повернення електромагнітних реле знаходиться в межах 0,4-0,9, а електронних може досягати 0,99.

Час спрацьовування і відпускання реле – найважливіші параметри реле. При подачі напруги на обмотку реле воно спрацьовує не миттєво, а через деякий проміжок часу $t_{зпр}$ (рис. 13.9), який називається часом спрацьовування реле. Відпускання реле після зняття напруги або зниження його до значення параметра відпускання відбувається не відразу, а через проміжок часу $t_{відп}$, який називається часом відпускання реле. Ці уповільнення пояснюються тим, що внаслідок великої індуктивності обмоток реле струм зростає і падає не миттєво, а поступово.

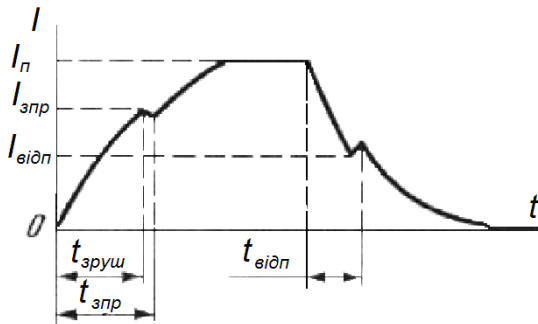


Рис. 13.9 – Діаграма зміни струму в обмотці реле при спрацьовуванні і відпуску

Час зрушення $t_{зруш}$ – це час, протягом якого рухливі частини реле знаходяться в спокої, а струм зростає до струму $I_{спр}$ спрацьовування реле. У проміжок часу $t_{спр} - t_{зруш}$ рухливі частини реле переходять з одного стійкого стану в інше, тобто реле спрацьовує. Потім струм зростає до номінального значення.

При знятті напруги струм реле поступово зменшується до значення $t_{відн}$, при якому рухомі частини реле повертаються в початковий стан. Отже, відключення реле займає період $t_{відн}$ [35].

За часом спрацювання реле діляться на швидкодіючі (t_{cnp} до 50 мс), нормальнорозривні ($t_{cnp} = 50-150$ мс) і повільнодіючі ($t_{cnp} = 0,15-1$ с). Реле з часом спрацювання менше 1 мс називають безінерційним, а з $t_{cnp} > 1$ с – реле витримки часу.

Надійність і комутаційна здатність реле в основному визначаються контактами. Контакти прийнято характеризувати такими параметрами: граничними значеннями струму, напруги, потужності і числом включень.

Гранично допустимий струм I_n визначається температурою нагріву контактів, при якій вони зберігають необхідні фізико-механічні властивості.

Гранично допустима напруга U_n визначається напругою пробою ізоляції контактів і пробою проміжку між контактами.

Для збільшення струму слід зменшувати опір контактів і збільшувати їх поверхню охолодження. Опір контактів визначається зусиллям, з яким контакти притиснуті один до одного. Для слабкострумових реле зусилля становить соті частки ньютонів, а для контактів на струми 3-10 А – до одного ньютонів. При цьому опір контактів одно $10^{-5}-10^{-3}$ Ом.

Гранично допустима потужність P_n є потужність електричного кола, яку контакти можуть розірвати без утворення на них стійкої електричної дуги. Дуга виникає при певних значеннях мінімального струму і напруги в залежності від матеріалу контактів. Так, для міді та срібла дуговий розряд може виникнути при токах більше 0,4 А і напрузі більше 12 В. При менших значеннях струму спостерігається тільки іскріння при розриві контактів, коли напруга на них більше 300 В.

Для полегшення роботи (зменшення іскроутворення) контактів застосовують додаткові елементи (резистори і конденсатори), які включають паралельно контактам K (рис. 13.10, а, б) або паралельно обмотці реле P (рис. 13.10, в, г, д). Магнітна енергія, накопичена в індуктивності обмотки P , витрачається не в зазорі між контактами, а в додатковому елементі – в резисторі R і конденсаторі C або в самій обмотці реле через діод VD (рис. 13.10, д). Опір гасительного резистора R приймають в 5-10 разів більшим ніж активний опір обмотки, а ємність конденсатора $C = 0,5-2$ мкФ.

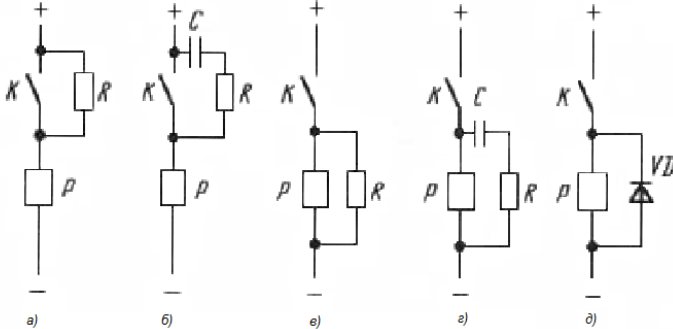


Рис. 13.10 – Схеми шунтування для зменшення іскріння контактів а, б – контактів; в, г, д – обмоток реле

При автоматизації технологічних процесів приладобудівельних підприємств найбільше застосування знайшли електромагнітні реле, устрій і принцип дії яких розглянуті нижче.

У ряді випадків при автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні виявляється доцільним здійснювати безпосередню зміну напрямку тих або інших потоків рідини або газу без організації логічних електричних кіл. Це здійснюється гідравлічними або, відповідно, пневматичними релейними елементами.

Гідравлічні апарати, які змінюють напрям потоку робочої рідини (мастила) в двох або більше лініях називаються гідророзподільниками.

Схожість деяких фізичних властивостей робочих мастил і повітря відбивається на схожості конструкцій гідро- і пневморозподільвачів. Гідро- і пневмопідсилювачі можна підрозділити на:

- розподільники тиску і розподільники витрати;
- розподільники золотникового і струменевого типів;
- розподільники з використанням базового елемента типу сопло-заслонка, розподільники клапанного типу, а також комбіновані промислові гідророзподільники;
- розподільники з ручним та електрокеруванням.

У ручних гідророзподільниках (гідрокнопках) команду про вмикання-вимикання подає оператор. Електрокеровані розподільники, як правило, є двокаскадними, і електрокеруванням у них є лише перший каскад.

Для автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні широко застосовується модульний монтаж гідро- та пневмоапаратури на основі функціонально, конструктивно і експлуатаційно закінчених блоків.

У гідро- і пневмосистемах також використовують такі елементи як фільтри і акумулятори, а також спеціальні засоби технічної діагностики.

У пневмоавтоматиці до перемикальних елементів відносяться різного роду пневморозподільники, зворотні пневмоклапани, клапани швидкого вихлопу, клапани витримки часу, а також логічні елементи.

Контрольні питання:

1. Наведіть класифікація електричних реле за принципом дії.
2. Назвіть найпоширеніші типи реле.
3. Як поділяються реле виконавчого елемента за будовою?
4. Принцип дії контактного реле?
5. Принцип дії безконтактного реле?

6. Принцип дії магнітоелектричного реле?
7. Принцип дії електродинамічного реле?
8. Принцип дії індукційного реле?
9. Принцип дії феромагнітного реле?
10. Принцип дії електротеплового реле?
11. Принцип дії резонансного реле?
12. З яких основних функціональних елементів зазвичай складається реле?

14. КОНТАКТОРИ

Контакторам відводиться роль комутаторів потужних індуктивних навантажень з потужністю від сотень ватів до мегават, основним призначенням контакторів є управління електродвигунами.

Контакторами називаються електромагнітні апарати, призначені для вмикання і вимикання силових кіл. Контактори, призначені для вмикання і вимикання трифазних асинхронних електродвигунів, називають магнітними пускатими.

Електромагнітний контактор (рис. 14.1) являє собою електричний апарат, призначений для комутації силових електричних ланцюгів. Замикання або розмикання контактів контактора здійснюється найчастіше за допомогою електромагнітного приводу [39].



Рис. 14.1 – Електромагнітний контактор

14.1. Класифікація електромагнітних контакторів

Загальнопромислові контактори класифікуються:

- за родом струму головного ланцюга і ланцюга керування (що включає котушки) – постійного, змінного, постійного і змінного струму;

- за числом головних полюсів – від 1 до 5;

- за номінальним струмом головного ланцюга – від 1,5 до 4800 А;

- за номінальною напругою головного ланцюга: від 27 до 2000 В постійного струму; від 110 до 1600 В змінного струму частотою 50, 60, 500, 1000, 2400, 8000, 10 000 Гц;

- за номінальною напругою включаючої котушки: від 12 до 440 В постійного струму, від 12 до 660 В змінного струму частотою 50 Гц, від 24 до 660 В змінного струму частотою 60 Гц;

- за наявністю допоміжних контактів – з контактами, без контактів.

Контактори також розрізняються за родом приєднання провідників головного ланцюга і ланцюга керування, способу монтажу, виду приєднання зовнішніх провідників і т.п.

Зазначені ознаки знаходять відображення в типі контактора, який присвоєно підприємством-виробником.

Нормальна робота контакторів допускається:

- при напрузі на затискачах головного ланцюга до 1,1 і ланцюгах управління від 0,85 до 1,1 номінальної напруги відповідних ланцюгів;

- при зниженні напруги змінного струму до 0,7 від номінального включаюча котушка повинна утримувати якір електромагніта контактора в повністю притягнутому положенні і при знятті напруги не утримувати його.

Серії електромагнітних контакторів, що випускаються промисловістю, розраховані на застосування в різних кліматичних поясах, роботу в різних умовах, що визначаються місцем розміщення при експлуатації, механічними впливами і

вибухонебезпечність навколишнього середовища і, як правило, не мають спеціального захисту від дотиків і зовнішніх впливів.

14.2. Конструкція електромагнітних контакторів

Контактор складається з таких основних вузлів: головних контактів, дугогасної системи, електромагнітної системи, допоміжних контактів.

Головні контакти здійснюють замикання і розмикання силового ланцюга. Вони повинні бути розраховані на тривале проведення номінального струму і на виробництво великого числа включень та відключень при великій їх частоті.

Нормальним вважають стан контактів, коли втягуюча котушка контактора не обтікається струмом і звільнені всі наявні механічні засувки. Головні контакти можуть виконуватися ва-жільного і мостикового типу.

Важільні контакти припускають поворотну рухливу систему, мостикового-прямоходового.

Дугогасильні камери контакторів постійного струму побудовані на принципі гасіння електричної дуги поперечним магнітним полем в камерах з поздовжніми щілинами. Магнітне поле в переважній більшості конструкцій збуджується послідовно включеною з контактами дугогасильною котушкою.

Дугогасильна система забезпечує гасіння електричної дуги, яка виникає при розмиканні головних контактів. Способи гасіння дуги і конструкції дугогасильних систем визначаються родом струму головного ланцюга і режимом роботи контактора.

Електромагнітна система контактора забезпечує дистанційне керування контактором, тобто, включення і відключення. Конструкція системи визначається родом струму і ланцюгами управління контактора, і його кінематичною схемою. Електромагнітна система складається з сердечника, якоря, котушки і кріпильних деталей.

Електромагнітна система контактора може розраховуватися на включення якоря і утримання його в замкнутому положенні або тільки на включення якоря.

Утримання ж його в замкнутому положенні в цьому випадку здійснюється засувкою.

Відключення контактора відбувається після знеструмлення котушки під дією відключає пружини, або власної ваги рухомої системи, але частіше пружини.

Допоміжні контакти виробляють перемикання в ланцюгах управління контактора, а також в ланцюгах блокування і сиг-налізації. Вони розраховані на тривале проведення струму не більше 20 А, і відключення струму не більше 5 А.

Контакти виконуються як замикаючі, так і розмикаючі, в переважній більшості випадків мостикового типу.

Контактори змінного струму виконуються з дугогасильними камерами з деіонними ґратами. При виникненні дуга рухається на решітку, розбивається на ряд дрібних дуг і в момент переходу струму через нуль гасне.

Електричні схеми контакторів, що складаються з функціональних струмопровідних елементів (котушки управління, головних і допоміжних контактів), в більшості випадків мають стандартний вигляд і відрізняються лише кількістю і видом контактів і котушок (рис. 14.2) [39].

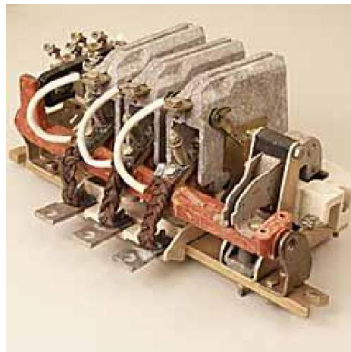


Рис. 14.2 – Вид контактора змінного струму

Важливими параметрами контактора є номінальні робочі струм і напруга.

Номінальний струм контактора – це струм, який визначається умовами нагріву головного ланцюга при відсутності включення або відключення контактора.

Причому, контактор здатний витримати цей струм три замкнених головних контактах протягом 8 годин, а перевищення температури різних його частин не повинно бути більше допустимої величини. При повторно-короткочасному режимі роботи апарату часто користуються поняттям допустимого еквівалентного струму тривалого режиму.

Напруга головного ланцюга контактора – найбільша номінальна напруга, для роботи при якому призначений контактор. Якщо номінальні струм і напруги контактора визначають для нього максимально-допустимі умови застосування в тривалому режимі роботи, то номінальні робочий струм і робоча напруга визначаються даними умовами експлуатації.

Так, *номінальний робочий струм* – струм, який визначає застосування контактора в даних умовах, встановлених підприємством-виробником в залежності від номінального робочої напруги, номінального режиму роботи, категорії застосування, типовиконання і умов експлуатації. А *номінальна робоча напруга* дорівнює напрузі мережі, в якій в даних умовах може працювати контактор.

Контактори повинні вибиратися за такими основними технічними параметрами:

- 1) за призначенням і області застосування;
- 2) за категоріями застосування;
- 3) за величиною механічної і комутаційної зносостійкості;
- 4) за кількістю та виконання головних і допоміжних контактів;

5) за родом струму і величинам номінальної напруги і струму головного ланцюга;

6) за номінальною напругою і споживаною потужністю включаючих котушок;

7) за режимом роботи;

8) за кліматичним виконанням і категоріям розміщення.

Контактори постійного струму призначені для комутації ланцюгів постійного струму і, як правило, приводяться в дію електромагнітом постійного струму. Контактори змінного струму призначені для комутації ланцюгів змінного струму. Електромагніти цих ланцюгів можуть бути як змінного, так і постійного струму.

Контактори постійного струму випускаються в основному на напругу 22 і 440 В, струми до 630 А, однополюсні і двополюсні.

Контактори серії ККД 100 Е призначені для комутації головних ланцюгів і ланцюгів керування електроприводом постійного струму напругою до 220 В.

Контактори випускаються на номінальні струми від 25 до 250 А.

Контактори серії КПВ 600 призначені для комутації головних ланцюгів електроприводів постійного струму. Контактори цієї серії мають два виконання: з одним замикаючим головним контактом (КПВ 600) і з одним розмикальним головним контактом (КПВ 620).

Управління контакторами здійснюється від мережі постійного струму.

Контактори випускаються на номінальні струми від 100 до 630 А. Контактор на струм 100 А має масу 5,5 кг, на 630 А – 30 кг.

Контактори змінного струму будуються, як правило, триполюсними з замикаючими головними контактами. Електромагнітні системи виконуються шихтованими, тобто зібраними з окремих ізольованих один від одного пластин товщиною до 1 мм [39].

Основну частину опору котушки становить її індуктивний опір, який залежить від величини зазору. Тому струм в котушці контактора змінного струму при розімкнутій системі в 5-10 разів перевищує струм при замкненій магнітній системі. Електромагнітна система контакторів змінного струму має короткозамкнений виток на осерді для усунення гудіння і вібрації.

На відміну від контакторів постійного струму режим включення контакторів змінного струму (рис. 14.4) більш важкий, ніж режим відключення через пусковий струм асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Крім цього наявність брязкоту контактів при включенні призводить в цих умовах до великого зносу контактів. Тому боротьба з дребезгом при включенні тут набуває першочергового значення.

Контактори мають категорії основного застосування АС-1, АС-2, АС-3, АС-4, DC-4, DC-5 [39].



Рис. 14.4 – Вид контактора змінного струму

Різні категорії застосування використовуються при різних режимах комутації електричних ланцюгів. Так, категорія АС-1 відповідає режим відключення ланцюга зі слабоіндуктивним навантаженням, коли кут зсуву фаз між струмом і напругою ланцюга близький до нуля. У цих умовах миттєве значення повертається напруги промислової частоти (напруга джерела в момент переходу струму через нульове

значення) невелика і швидкість відновлення напруги за переходом струму мала. При малих швидкостях відновлення напруги процес відключення ланцюга виявляється дуже легким.

АС-2 – пуск і відключення електродвигунів з фазовим ротором, гальмування протиковключенням.

АС-3 – прямий пуск електродвигунів з коротко-замкнутим ротором, відключення обертових двигунів.

АС-4 – пуск електродвигунів з коротко-замкнутим ротором, відключення нерухомих або повільно обертаються електродвигунів, гальмування протиковключенням.

Контактори й пускачі категорії застосування АС-3 зазвичай допускають роботу і в категорії АС-4.

ДС-4 – пуск електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням і відключення обертових електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням.

ДС-5 – пуск електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням, відключення нерухомих або повільно обертаючих двигунів, гальмування протиковключенням.

Умови відключення електродвигунів змінного струму визначаються ступенем ковзання ротора двигуна щодо обертового магнітного поля статора. У обертаємому асинхронному двигуні це поле створює основний магнітний потік. При відключенні обмотки статора потік повинен зникнути. Але відключення статора викликає поява в роторі струму, який відповідно до закону інерції Ленца прагне підтримати потік. Потік, створюваний струмом ротора, нерухомий щодо останнього, але він обертається разом з ротором.

Збільшення постійної часу й інтенсивності комутації струму призводить до зростання перенапруг. Щоб не викликати пробою ізоляції, ці перенапруги не повинні перевищувати допустимий рівень, тому не завжди доцільно прагнути до збільшення інтенсивності дії комутуючого органу апарату.

Крім цього, умови експлуатації апаратів не завжди вимагають високих значень їх зносостійкості і допустимої

частоти операцій. У стандартних і, відповідно, найбільш поширених випадках, найбільше застосування знаходять контактори й пускачі з малими значеннями зносостійкості, і частоти спрацьовувань. Тому гнатися за високими показниками зносостійкості в біль-шості випадків не варто.

Виняток становлять різні металургійні, підйомно-транспортні та інші приводи, які часто характеризуються великою частотою операцій включення – відключення або перемикання (до 1200 в годину), реверсуваням і гальмуванням противовключення. Але в даному випадку, в даний час, доцільніше використовувати комутаційні апарати на напівпровідникових елементах (тиристорні пускачі і контактори, пристрої плавного пуску) і тільки у виняткових випадках – контактори й пускачі з високою зносостійкістю [39].

Контрольні запитання:

1. Наведіть класифікацію загальнопромислових контакторів.
2. Як класифікуються контактори за родом приєднання провідників головного ланцюга і ланцюга керування?
3. З яких основних вузлів складається контактор?
4. Наведіть основні параметри контактора.
5. Опишіть будову контакторів змінного струму.

15. ЕЛЕКТРОДВИГУННІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

Електричний двигун (електродвигун) є пристроєм для перетворення електричної енергії на механічну та приведення до руху машин і механізмів. Він є головним і обов'язковим (але не єдиним) елементом електроприводу.

Перші електричні двигуни були винайдені ще у першій половині XIX ст., а з кінця того ж століття почали набувати все більшого поширення. Сучасні промисловість, транспорт, комунальне господарство, побут неможливо уявити без електричних двигунів. Їх класифікація за принципом дії приведена на рис. 15.1 [40].

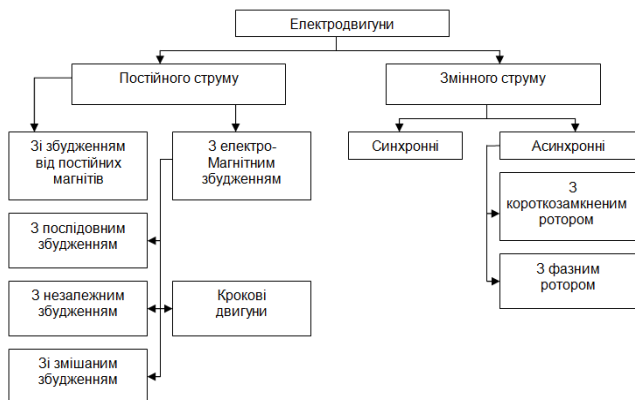


Рис. 15.1 – Класифікація за принципом дії електричних двигунів

Переважає більшість електричних двигунів є двигунами обертального руху (рис. 15.2).

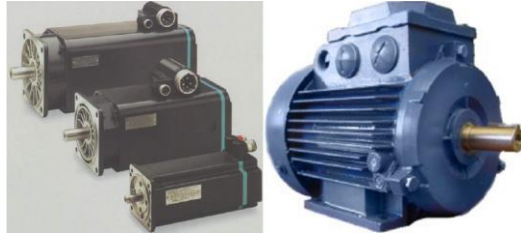
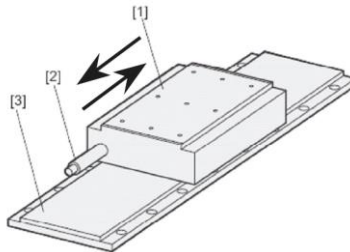


Рис. 15.2 – Електричні двигуни оберտального руху

Вони складаються з нерухої частини (статора) та рухої (ротора). Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток двигуна. Проте для низки механізмів, які виконують поступальний або зворотно-поступальний рух (супорти та столи металорізальних верстатів, деякі транспортні засоби), з метою спрощення конструкції механічної частини електропривода іноді використовують лінійні двигуни.

Рухома частина таких двигунів (вторинний елемент або бігун) здійснює лінійне переміщення (рис. 15.3).



*Рис. 15.3 – Лінійний електричний двигун
1 – статор, 2 – підвід живлення, 3 – бігун*

Залежно від роду електричного струму, що використовують для живлення електричних двигунів, розрізняють двигуни постійного та змінного струму. Залежно від типу регулюючого органу розрізняють однооборотні, багатооборотні, крокові і постійно обертаємі ЕВМ.

Однооборотні – з кутом повороту вихідного вала до 360° застосовують зазвичай в приводі таких регулюючих органів, як заслінки, крани, шибера і т.п.

Багатооборотні – використовують для переміщення регулюючих органів у формі запірних вентилів, дроселів і засувок. Вихідний вал у них може здійснювати велику кількість обертів і одночасно поступально переміщувати регулюючі органи.

Крокові – застосовують для перетворення імпульсних сигналів управління в фіксований кут повороту, тобто на кожен імпульс механізм робить строго заданий кутовий крок.

У *постійно обертаємих* – крутний момент від вала електродвигуна до регулюючого органу передається зазвичай через електромагнітну муфту. Напрямок та швидкість обертання вихідного вала муфти регулюють, змінюючи струм збудження муфти.

Принцип дії будь-якого електричного двигуна базується на взаємодії магнітних полів. Якщо наблизити один магніт до іншого, то різнойменні їхні полюси будуть притягуватися один до одного, а однойменні – відштовхуватися. У двигуні роль

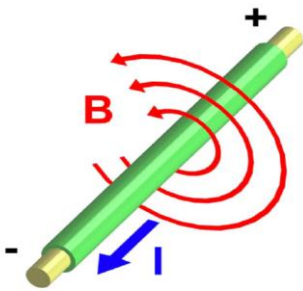


Рис. 15.4 – Виникнення магнітного поля провідника зі струмом

принаймні одного з магнітів грає котушка зі струмом (тобто електромагніт). Відомо, що протікання провідником електричного струму викликає появу магнітного поля довкола провідника (рис. 15.4). Це поле має коаксальний характер, а напрям його магнітних силових ліній можна визначити за

«правилом гвинта». Згідно з цим правилом, якщо гвинт закручувати у провідник так, щоб напрям поступального руху

гвинта збігався з напрямом струму, то напрям обертання гвинта показуватиме напрям магнітних силових ліній поля (рис. 15.4).

На рис. 15.5 показаний поперечний переріз провідника. Усередині перерізу умовно показаний напрям струму: хрест («хвіст» стрілки струму) – струм від глядача (рис. 15.5,а), точка («вістря» стрілки струму) – струм на глядача (рис. 15.5,б). З рис. 15.5,в,г видно, що магнітне поле замкненої рамки (кільця) зі струмом подібне до магнітного поля постійного магніту (силові лінії виходять із північного полюса та входять до південного). Таким чином, рамка зі струмом являє собою елементарний електромагніт.

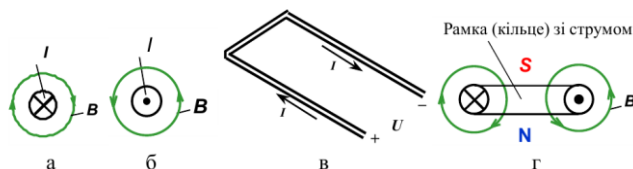


Рис. 15.5 – Магнітні силові лінії провідників зі струмом
 а – струм від глядача, б – струм на глядача, в – рамка зі струмом,
 г – силові лінії рамки (кільця) зі струмом

Основними технічними вимогами, що пред'являються до ЕВМ, є:

- статична стійкість і лінійність механічних характеристик у всьому діапазоні зміни управління;
- лінійна залежність кутової швидкості обертання ротора від величини керуючого сигналу у всьому робочому діапазоні;
- висока швидкодія по відношенню до динамічних параметрах об'єкта управління;
- великий пусковий момент;
- мала потужність управління при значній механічній потужності на валу електродвигуна;
- відсутність самоходу, тобто малий залишковий крутний момент при відсутності сигналу керування;
- висока надійність;
- малі габарити, розміри і маса;

- високі експлуатаційні властивості (ККД, ресурс роботи).

15.1. Електродвигуни постійного струму

Двигуни постійного струму ЕВМ найбільш повно задовольняють вимогам, що пред'являються до виконавчих елементів систем. Для стаціонарних об'єктів виробництва ці ВМ застосовуються обмежено, в основному в одиничних випадках. За способом збудження двигуни діляться на виконавчі двигуни з електромагнітним збудженням і з порушенням від постійних магнітів. Двигуни з електромагнітним збудженням виконуються з незалежним, послідовним і змішаним збудженням. З усього різноманіття виконавчих двигунів постійного струму необхідно виділити безколекторні двигуни і двигуни з друкованою обмоткою якоря. Управління двигунами постійного струму може бути безперервним і імпульсним.

Електродвигуном постійного струму з незалежним збудженням можна управляти як з боку якоря, так і з боку обмотки збудження. При управлінні електродвигуном з боку якоря обмотка збудження живиться постійною напругою постійного струму і створює постійний потік збудження. До якірного ланцюга електродвигуна підводиться керуюча напруга постійного струму. При управлінні електродвигуном з боку обмотки збудження ланцюг якоря живиться від мережі постійною напругою постійного струму, а керуюча напруга, що створює регульований потік збудження, подається на обмотку збудження. При цьому способі управління потрібна менша потужність сигналу ланцюга управління, що дозволяє використовувати в якості кінцевих підсилювачів електронні, магнітні, напівпровідникові та інші малопотужні підсилювачі.

До недоліків управління електродвигуном з боку обмотки збудження відносяться малий діапазон зміни швидкості, нелінійність статичних характеристик, збільшення порядку рівняння руху електродвигуна і регулювання швидкості тільки в бік її збільшення.

У системах автоматичного керування широке поширення одержав спосіб управління двигуном з боку якоря, так як він

ДОзволяє отримати широкий діапазон регулювання швидкості, плавність регулювання, відносну лінійність статичних характеристик, більшу швидкодію.

До виконавчих двигунів з якірним керуванням відносяться двигуни з постійними магнітами. Їх статичні характеристики аналогічні характеристикам двигуна з електромагнітним збудженням при якірному управлінні. Перевага двигунів з постійними магнітами полягає в тому, що вони не вимагають джерела живлення обмотки збудження, мають більший ККД і швидкодію, магнітний потік практично не залежить від температури двигуна. Особливо високі показники по швидкодії у двигунів з порожнистим немагнітним якорем, в який впресована обмотка управління. До недоліків двигунів з постійними магнітами відносяться старіння магнітів, які використовуються для полюсів. В даний час випускається велика серія двигунів з постійними магнітами ДПМ.

Для збільшення швидкодії виконавчих двигунів застосовують двигуни постійного струму з плоским якорем (серія ПЯ), на якому обмотка нанесена друкованим способом (рис.15.6).

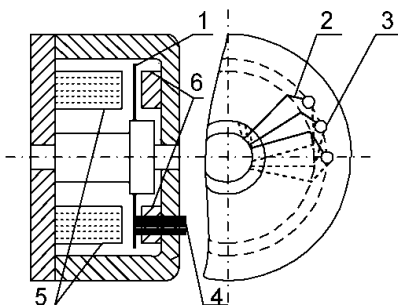


Рис. 15.6 – Електродвигун постійного струму з друкованою обмоткою якоря

Електрична машина виконується не з циліндричним повітряним зазором, а з плоским. Якір (1) являє собою тонкий

диск, виконаний з немагнітного матеріалу (текстоліту, алюмінію), по обидва боки якого знаходяться провідники – обмотка (2). Окремі провідники з'єднуються один з одним через наскрізні отвори в диску (3). Електродвигуни з друкованою обмоткою потужністю до 200 Вт не мають спеціального колектора. Роль колектора виконують активні частини провідників, що знаходяться на одному торці диска. По поверхні торця диска ковзають срібно-графітові щітки (4). Порухування двигуна здійснюється постійним магнітом з полюсними наконечниками (5), що мають форму кільцевих сегментів. Іноді воно може здійснюватися і електромагнітами. Магнітний потік збудження проходить аксіально через два повітряних зазори, немагнітний диск з друкованою обмоткою замикається по кільцях з магнітом'якої сталі. При протіканні струму по обмотці на валу двигуна створюється обертовий момент, розташований в площині диска якоря.

Так як секції друкованої обмотки одновиткові, а кількість секцій обмежена розмірами диска, то електродвигуни з друкованою обмоткою виконують зазвичай на низьку напругу мережі. Для збільшення потужності електродвигуна в деяких конструкціях застосовують багатодискове виконання якоря. Тоді електродвигун являє собою сукупність кількох електричних машин, зібраних в одній магнітній системі.

Для забезпечення демпфування якір виконують з немагнітного провідного матеріалу – алюмінію. Вихрові струми в тілі якоря утворюють гальмівний момент, пропорційний швидкості обертання. Між обмоткою і диском встановлюється майже повне потокозчеплення, отже, індуктивність обмотки практично дорівнює нулю і опір є чисто активним.

Електромеханічна стала часу за рахунок малого моменту інерції дискового якоря знижується до 0,01 ... 0,02 с, що є одною з основних переваг розглянутих двигунів. Крім того, через незначну індуктивності обмотки якоря комутація не супроводжується іскрінням. Провідники друкованої обмотки знаходяться в значно кращих умовах охолодження, ніж провідники, вкладені

в пази звичайного якоря. Це дозволяє підвищити щільність струму в них і управляти електродвигуном за допомогою напівпровідникових підсилювачів. Механізоване виготовлення обмоток якоря здешевлює електродвигун.

До недоліків таких електродвигунів в порівнянні зі звичайним двигуном слід віднести більш низький ККД через збільшення магнітного зазору машини, обмежену довговічність внаслідок зносу контактуючих поверхонь провідників обмотки якоря і критичність до перевантажень по струму внаслідок обмеження допустимої щільності струму через друковані обмотки, що в ряді випадків веде до ускладнення схеми керування електродвигунами.

Одним із суттєвих недоліків виконавчих двигунів постійного струму є наявність ковзного контакту між щітками і колектором, що створює іскріння і радіоперешкоди. Надійність двигунів відносно низька через швидкий знос щіток, особливо при високих швидкостях обертання якоря. Існують умови експлуатації, коли колекторні двигуни постійного струму незастосовні. З метою усунення зазначених недоліків щітково-колекторний вузол двигуна постійного струму замінюють більш надійною напівпровідниковою схемою, керованою сигналами датчика кутового положення ротора. Безколекторний електродвигун постійного струму складається (рис. 15.7) з двигуна (Д), напівпровідникового комутатора (К) і датчика кутового положення ротора (ДП).

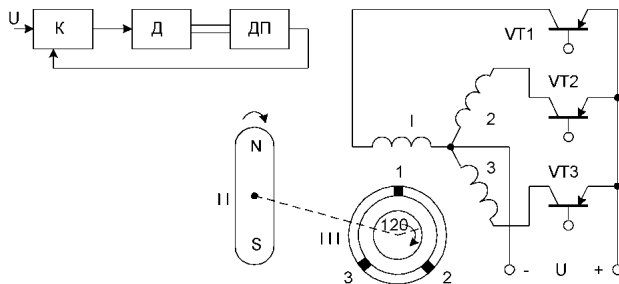


Рис. 15.7 – Структурна і електрична схеми безколекторного двигуна постійного струму

На відміну від колекторного двигуна постійного струму безконтактний двигун має обмотку якоря на статорі (I) і систему збудження з постійними магнітами на роторі (II). Ротор виконується, як правило, явно полюсним з однією парою полюсів з постійного магніту. Обмотка складається з трьох секцій, з'єднаних в зірку. І підключених до транзисторного комутатора. З віссю ротора двигуна жорстко пов'язаний якір датчика кутового положення (III) з трьома чутливими елементами (1, 2, 3), розташованими один щодо одного під кутом 120 електричних градусів. Чутливі елементи датчика керують струмами баз транзисторів (VT1, VT2, VT3) напівпровідникового комутатора (IV).

У положенні ротора, зазначеному на схемі, якір датчика кутового положення взаємодіє з чутливим елементом (1), який підтримує у відкритому стані транзистор (VT1). Струм, що протікає по обмотці статора (1), взаємодіє з полем постійного магніту, в результаті чого до ротора прикладається момент, спрямований за годинниковою стрілкою. Під впливом цього моменту ротор двигуна обертається в тому ж напрямку, захоплюючи за собою якір датчика. Обмотка (1) підключена до джерела живлення U на інтервалі 120 електричних градусів, що збігається з кутовим розміром сектора якоря датчика положення ротора. Після повороту на 120 електричних градусів відбувається відключення обмотки (1) і підключення обмотки (2), так як якір датчика кутового положення взаємодіє з чутливим елементом (2), який відкриває транзистор VT2 комутатора. Таким чином, поворот ротора на 120 електричних градусів призводить до стрибкоподібного переміщення поля статора. Обертання ротора триватиме тому, що відбувається послідовне підключення обмоток статора електродвигуна до джерела живлення, що забезпечується завдяки впливу на комутатор сигналу зворотного зв'язку, що знімається з датчика кутового положення ротора.

Тип обмотки статора електродвигуна і спосіб її підключення до джерела електроживлення визначають кількість перемикаючих транзисторів комутатора, а також число чутливих елементів датчика ДП. Для зменшення пульсацій моменту на валу двигуна за один оборот кількість обмоток повинно бути великим. Чим більше число обмоток, тим краще пускові властивості і рівномірніше робота машини. Зростання кількості обмоток приводить до збільшення числа чутливих елементів датчика положення і напівпровідникового комутатора. Оскільки елементи комутатора мають меншу надійність в порівнянні з іншими частинами електродвигуна, а маса і габарити комутатора порівнянні з масою і габаритами двигуна, то для електродвигунів невеликої потужності доцільно застосування двох, трьох обмоток.

У розглянутих двигунах можлива одно - напівперіодна комутація, при якій струм по обмотці протікає в одному напрямку і дво- напівперіодна комутація, коли струм по обмотці змінює напрям, тобто обмотка використовується протягом повного обороту ротора.

Двигуни з реверсивним живленням мають перевагу перед аналогічними двигунами з нереверсивним живленням, що обумовлене кращим використанням міді обмоток і активних частин, і більш високим ККД. Однак ускладнення схеми комутатора (кількість елементів зростає вдвічі і конструкції датчика положення такого двигуна в порівнянні з нереверсивним змушують віддавати йому перевагу тільки в тих випадках, коли пред'являються високі вимоги до габаритів, масі, величині пульсацій моменту і значенням ККД двигуна. Для електродвигунів малої потужності більш раціональна однонапівперіодна комутація.

Обмотка статора безконтактного електродвигуна може виконуватися або замкнутою, або розімкнутою. Замкнута обмотка вимагає двухполуперіодного живлення, що ускладнює комутуючий пристрій, але покращує використання матеріалу двигуна. У безконтактному двигуні постійного струму можна

виділити два ланцюги, що впливають на комутатор. Перший ланцюг – джерело живлення транзисторів U, другий – зворотний зв'язок, що йде з датчика положення ротора і впливає на базу того чи іншого транзистора. Звідси випливають два способи керування швидкістю двигуна: шляхом зміни напруги U джерела живлення і шляхом впливу на сигнал зворотного зв'язку двигуна.

Реверсування двигуна може бути здійснено напівпровідниковим комутатором шляхом взаємного перемикання початку та кінців обмоток або шляхом перемикання чутливих елементів датчика положення або вхідних ланцюгів транзисторів.

Таким чином, поряд з основною функцією перемикання обмоток за сигналами датчика положення напівпровідниковий комутатор регулює швидкість обертання ротора, здійснює реверс, пуск і зупинку двигуна. Ланцюги комутації обмоток статора можуть бути виконані на транзисторних, тиристорних і магнітно-транзисторних ключах.

Одним з основних вузлів безколекторних двигунів постійного струму є датчик кутового положення ротора. В якості таких датчиків можуть застосовуватися магніторезистори, датчики Холла, радіоактивні елементи, ємнісні, трансформаторні, індуктивні датчики, фоточутливі пристрої.

Датчики положення ротора повинні задовольняти вимогам безконтактності, високої надійності, малої маси і габаритів, стабільності вихідного сигналу, високої чутливості до кутового положення ротора, малого споживання енергії і гарного узгодження з вхідними ланцюгами комутатора.

Застосування безконтактних комутаторів обмоток двигуна постійного струму призводить до більш високої вартості і великих габаритів в порівнянні з колекторними двигунами тієї ж потужності. Однак зростання габаритів і вартості виправдо-вується збільшенням терміну служби і надійності безколекторних двигунів постійного струму.

На рис. 15.8 показано схему вмикання електричного двигуна постійного струму із незалежним збудженням, на рис. 15.9 двигун постійного струму в розрізі.

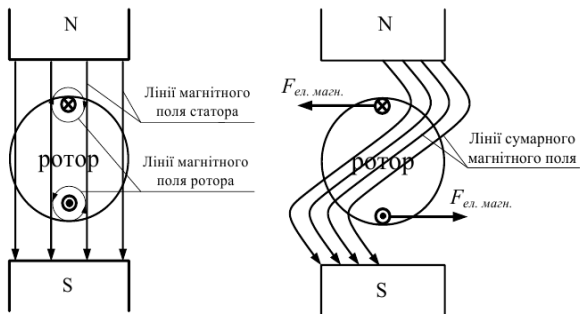


Рис. 15.8 – Принцип виникнення електромагнітного моменту у двигуні постійного струму [40]



Рис. 15.9 – Двигун постійного струму в розрізі. Праворуч розташований колектор з щітками

15.2. Крокові виконавчі двигуни

Кроковим двигуном називається електродвигун з переривчастим обертанням ротора під дією дискретного

електричного сигналу, що подається на обмотки управління. У якості крокових двигунів набули широкого поширення багатофазні синхронні двигуни з активним (збудженням) і реактивним (незбудженим) ротором. Крокові двигуни відрізняються від звичайного синхронного в основному формою напруги, що підводиться до фазних (керуючих) обмоток. Крокові двигуни застосовуються з електронним комутатором, який подає на обмотки управління прямокутні імпульси. Послідовність підключення обмоток і частота імпульсів відповідає заданій команді. Кожному імпульсу управління відповідає поворот ротора на фіксований кут, званий кроком двигуна, величина якого строго визначена його конст-рукцією і способом перемикання обмоток. Швидкість обертання пропорційна частоті, а сумарний кут повороту – числу імпульсів управління. При зміні послідовності підключення до обмоток керуючих імпульсів за довільним законом кроковий двигун працює в режимі стеження, відтворюючи складний рух з точністю до одного кроку. Кроковий двигун спільно з комутатором можна віднести до систем частотного регулювання синхронного електродвигуна з можливістю зміни частоти до нуля. При знятті керуючих імпульсів кроковий двигун фіксує кінцеві координати кутового переміщення з точністю до часток кроку без застосування датчиків зворотного зв'язку, що спрощує систему управління. Ці двигуни застосовуються в основному в складі САУ технологічними виробничими процесами (наприклад, мікроклімат, теплові процеси й ін.).

Розглянемо принцип дії та особливості основних фізичних процесів крокових двигунів на прикладі двофазної двополосної синхронної машини з активним ротором.

При подачі постійної напруги зазначеного знака на фазу (А) (рис. 15.10) виникає сила, що намагнічує статор (FA), яка в результаті взаємодії з полем постійного магніту ротора створює синхронізуючий момент. Під дією цього моменту ротор займе положення, при якому його вісь співпаде з віссю фази (А). При відключенні фази (А) і підключенні фази (В) вектор сили, що

намагнічує статора повернеться на 90° за годинниковою стрілкою, виникне синхронізуючий момент, під дією якого ротор знову повернеться на 90° . Для наступного повороту ротора на 90° за годинниковою стрілкою необхідно подати на фазу (A) напругу протилежного знаку і т.д.

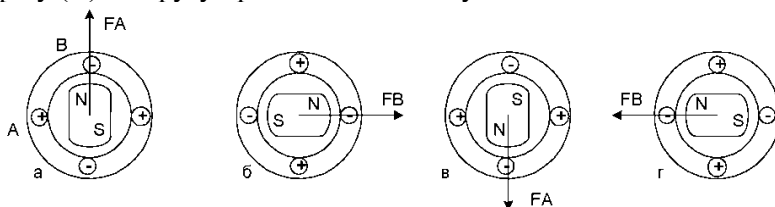


Рис. 15.10 – Принцип дії трифазного крокової двигуна

При розглянутому способі перемикання обмоток, який можна представити у вигляді послідовності (+ A, + B, A, -B), крок двигуна дорівнює 90° . Крок двигуна можна зменшити в два рази, якщо перемикання обмоток виконати в іншій послідовності: (+A), (+A, +B), (+B), (+B, -A), (-A), (-A, -B), (-B), (-B, +A), тобто на деяких етапах відбувається підключення двох фаз одночасно. Така комутація фаз зменшує крок до 45° .

Управління кроковим двигуном може бути однополярним або різнополярним, симетричним або несиметричним, по-тенційним або імпульсним. При однополярному управлінні напруга, що підводиться до фази, змінюється тільки за величиною від нуля до $+U$. Різнополярне управління передбачає зміну напруги від $-U$ до $+U$. Управління називається симетричним, якщо для кожного стійкого стану збуджується однакова кількість фаз. Якщо порушується різне число обмоток, то управління буде несиметричним. У розглянутому прикладі крокового двигуна управління є різнополярним симетричним при кроці 90° і несиметричним при кроці 45° .

При потенційному керуванні напруга на обмотках змінюється тільки в моменти надходження керуючих імпульсів. За відсутності сигналу керування обмотки знаходяться під

постійною напругою, які фіксують положення ротора. При імпульсному управлінні обмотки статора знаходяться під напругою тільки в моменти повороту ротора, а потім напруга знімається і ротор фіксується в певному положенні реактивним моментом.

Спосіб управління кроковим двигуном впливає на складність електронного комутатора. Для простоти схеми електронного комутатора найбільш зручною є потенційна схема управління з симетричною однополярною комутацією обмоток.

Кроковий двигун з електронним комутатором характеризується рядом величин, що визначають можливості його застосування:

1. Числом стійких електричних станів n , яке кратно або дорівнює числу керуючих обмоток m . Так використовується при однополярній комутації і симетричному способі управління. $n = 2 * m$ при різнополярній комутації з симетричним управлінням або при однополярній комутації для несиметричного способу управління. $n = 4 * m$ для несиметричної різнополярної комутації. Поділ фазної обмотки на дві секції з почерговим включенням секцій дозволяє збільшити число стійких станів. У багатополісній електричній машині число n зростає пропорційно числу пар полюсів ротора.

2. Механічним кроком двигуна – це кут між двома стійкими сусідніми станами, $a = 2p / (n \cdot p)$ де: n – число стійких станів; p – число пар полюсів ротора. Цей же кут в електричних градусах буде дорівнює $a_s = a \cdot p = 2p(n \cdot p)$.

3. Синхронізуючим моментом – залежністю моменту, що розвивається двигуном, від кутового положення ротора. Для крокових двигунів з симетричним ротором ця функція близька до синусоїди. Пусковим моментом є максимальний момент навантаження, при якому двигун на черговому циклі комутації обертається без втрати кроку. Цей момент дорівнює ординаті точки перетину кривих синхронізуючого моменту для двох стійких сусідніх станів. Інтервал значень кутового положення

ротора, в межах якого ротор повертається у вихідне положення, є зоною статичної стійкості двигуна. Ця зона дорівнює $(-p) \dots (p)$ для двигуна з симетричним ротором.

4. Частотою прийомистості f_n – максимальною частотою проходження імпульсів управління, при якій двигун входить в синхронізм без втрати кроку. Частота прийомистості пропорційна динамічній добротності крокового двигуна, яка визна-чається відношенням $-M_{\Pi} / J$, і обернено пропорційна кроку двигуна. При одній і тій же добротності і величині кроку частота прийомистості зростає зі збільшенням числа обмоток управління. Це пояснюється тим, що при пуску ротор за перші тактові імпульси може відпрацьовувати не повні кроки, а обертатися з деяким запізненням щодо магніторушійної сили (м.р.с.) статора, залишаючись в межах зони стійкості при кожному черговому перемиканні обмоток управління. Частота прийомистості залежить від моменту навантаження на валу і електромагнітної постійної часу обмоток управління.

5. Електромагнітною постійної часу, яка визначається відношенням індуктивного опору обмотки управління до її активному опору.

6. Своєю частотою коливань ω_0 якою називається кутова частота коливань ротора двигуна близько стійкого положення при відсутності моменту навантаження. Знання ω_0 необхідно при визначенні частоти керуючих імпульсів, при яких можливо явище резонансу. При резонансі амплітуда коливань ротора різко зростає, і двигун випадає із синхронізму.

7. Механічною характеристикою крокового двигуна, який називається залежністю моменту, що розвивається двигуном, від частоти керуючих імпульсів. Механічна характеристика має падаючий характер, так як з ростом частоти позначається запізнювання в наростанні струму за рахунок індуктивності обмоток управління. На деякій граничній частоті момент двигуна стає рівним нулю.

Поряд з магнітоелектричними кроковими двигунами з активним ротором знаходять широке застосування індукторні і реактивні двигуни.

Індукторні крокові двигуни мають феромагнітний ротор з магнітом'якої електротехнічної сталі. На роторі знаходяться рівномірно розташовані зубці z_p , на статорі – гребінчасті зубцеві зони, зміщені відносно один одного на кут $2 \cdot p / (m \cdot z_p)$.

Ротор збуджується з боку статора постійною складовою струму в фазах. Порушення ротора може здійснюватися також постійними магнітами статора або окремою обмоткою збудження.

Для збільшення швидкодії крокового двигуна зменшують крок двигуна шляхом використання електромагнітної редукції. Розміри зубців ротора дорівнюють розмірам зубців статора. Одна пара зубців ротора співвісна з зубцями однієї пари полюсних виступів статора, а решта зубці ротора зміщені на l/p частину зубцевого ділення по відношенню до зубців інших пар полюсних виступів. При надходженні чергового сигналу управління відбувається поворот м.д.с. статора на 60° і реактивний момент повертає ротор на $1/3$ зубцевого поділу в положення найбільшої магнітної провідності щодо збудженої пари полюсів, тобто на кут, значно менший кута повороту м.д.с. Наприклад, при $z_p = 60^0 C$ з числом пар полюсів статора, рівним трьом, кут повороту ротора буде $a = 2p / (n \cdot p) = 360^0 / (3 \cdot 60^0) = 2^0$.

Зменшення кроку двигуна дозволяє підвищити швидкість відпрацювання керуючого сигналу і частоту прийомистості. Однак використання електромагнітної редукції призводить до зменшення синхронізуючого моменту.

Крокові двигуни з активним ротором типу ДШ мають крок $22,5^\circ$, створюють обертаючий момент до 20 кг/см з частотою прийомистості при навантаженні до 400 крок/с .

Реактивні редукторні крокові двигуни типу ШДР мають менший обертаючий момент, але більшу швидкодію при кроці, рівному 3° , і частоті прийомистості до 1000 крок/с. Перша група застосовується в якості виконавчих двигунів силових електроприводів з прог-рамним управлінням. Друга група крокових двигунів застосовується в інформаційно-вимірювальних приладах, зовнішніх пристроях обчислювальних машин та інших системах, де не потрібно великого крутного моменту.

Побудова замкнутих систем автоматики з кроковими двигунами є недоцільною, тому що поліпшені якості замкнутих систем легше досягаються при використанні регульованих двигунів безперервної дії. Крокові двигуни мають більш низькі енергетичні показники, ніж регульовані двигуни безперервної дії. Крім того, зі збільшенням габаритів КД знижується допустима частота, що призводить до збільшення кроку при заданій швидкості виконавчого органу.

Прикладом КД, що випускаються промисловістю, можуть бути двигуни ШД-2-1, ШД-2-6, ШДА-3-1 і ШДА-3-6 з кутовим моментом кроком 15° , номінальним моментом 0,1 - 10 Н-м і частотою прийомистості 110 ... 600 крок/с; КД параметричного типу з феромагнітним зубчастим ротором ШДР-50/1800 та ШДИ-1 з кутовим кроком 3° , номінальним моментом 1 ... 2,5 Н-м і частотою прийомистості 450 ... 1000 крок/с. Технічні дані крокових двигунів приведені в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Крокові електродвигуни

Тип двигуна	m	a	$M_{\text{пвх}}$	M_H	$J_{\text{НГ}}$	J_p	/ ИМ /	/ П /	I	U
РШД-10	4	3	1,4	0,55	8,0	-	-	400	-	27
РШД-20	4	3	10	2,5	5,0	-	-	850	-	27
РШД-30	4	3	400	100	390	-	-	250	-	24
ЭШД-26	2	22,5	10	4,0	1,2	-	-	700	-	24

ЭШД-27	2	22,5	180	60	120	-	-	280	-	48
ЭШД-31	2	22,5	300	100	370	-	-	200	-	48
ДШ-0,1А	4	22,5	8,0	1,0	19	19	400	300	0,6	27
ДШ-1А	4	22,5	60	10	420	420	200	150	2,7	27
ДШ-6А	4	18	260	60	3900	3900	100	80	5,0	27
ШДА-3	4	22,5	7,0	2,5	20	20	320	130	0,37	28
ШДА-6	4	22,5	41	16	100	97	260	120	1,65	28
ШДР-231	4	9	1,25	0,4	0,4	0,83	1500	700	0,35	28
ШДР-523	4	3	16	4,0	45	2,8	1500	600	1,0	28
ШД-1С	4	15	1,0	0,4	0,5	14	-	100	0,08	27
ШД-3С	4	15	17	2,5	20	100	-	100	0,19	24
ЩДА-3-2	3	15	4,0	0,4	3,0	6,5	-	450	0,5	27
ЩДА-3-4	3	15	25	4,0	25	47	-	150	1,0	27
ШД-2	3	16	150	30	50	300	-	200	8,3	12
ШД-5	3	1,5	10	5,0	50	55	1400	1200	2,0	27
ДШМ-16-4	4	22,5	2,8	1,0	1,0	-	-	430	1,9	27
ДТГТИ-72-3	4	5,0	2,2	0,4	0,16	-	-	1000	0,74	27

Примітки: m – число фаз (обмоток управління); a – одиночний крок ротора, в градусах; M_{\max} , M_H – відповідно максимальний статичний синхронізуючий момент і номінальний крутний момент, в 10^{-2} Нм; J_{HG} і J_p – відповідно номінальний момент інерції навантаження і момент інерції ротора, в 10^{-7} кг-м²; f_{IM} і f_P – відповідно максимально допустима частота проходження імпульсів управління і частота прийомистості, в герцах; I – струм фази в режимі фіксованої стоянки, в амперах; U – напруга живлення, в вольтах.

Недоліки двигуна постійного струму полягають перша за все у наявності колектора. Тому активно ведуться розробки безколекторних, наприклад, крокових двигунів. Принцип дії такого двигуна ілюструє рис. 15.11.

Двополюсний ротор із видовженими виступами поміщений у чотириполюсний статор. Одна пара полюсів виконана з постійних магнітів, на іншій – намотана обмотка керування. Поки струму в обмотках керування немає, ротор орієнтується уздовж постійних магнітів і утримується з певним зусиллям, яке визначається магнітним потоком полюсів [41].

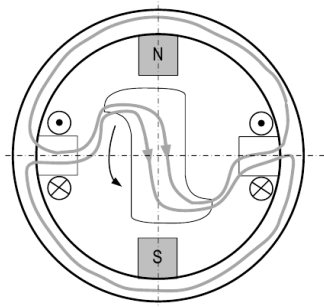


Рис. 15.11 – Принцип дії крокового двигуна [40]

При подачі постійної напруги на обмотку керування виникає магнітний потік приблизно вдвічі більший, ніж потік постійних магнітів. Під дією електромагнітного зусилля, створюваного цим потоком, ротор повертається, долаючи момент навантаження і момент, що розвивається постійними магнітами, прагнучи зайняти положення співвісне з полюсами керуючої обмотки. Поворот відбувається у бік видовжених виступів, тому що магнітний опір між статором і ротором у цьому напрямку менший, ніж у зворотному. Наступний керуючий імпульс відключає напругу з обмотки керування й ротор повертається під дією потоку постійних магнітів у бік виступів. Перевагою крокових двигунів з постійними магнітами

є простота конструкції й схеми керування. Для фіксації ротора при знеструмленій обмотці керування не потрібне споживання енергії, кут повороту зберігає своє значення й при відсутності живлення. Двигуни цього типу відпрацьовують імпульси із частотою до 200-300 Гц. Їхній недолік – низький ККД.

Характер руху ротора крокового двигуна визначається частотою й характером зміни керуючих імпульсів. Залежно від цього розрізняють такі режими роботи крокових двигунів: статичний, квазістатичний, перехідний. Статичний режим – це режим, при якому по обмотках статора протікає постійний струм, що створює нерухоме в просторі магнітне поле, а ротор не обертається. Під дією навантаження ротор лише відхиляється від положення рівноваги на деякий кут. Такий режим використовується для фіксації робочого органу мехатронної системи у деякому положенні (наприклад, фіксація руки робота, яка тримає вантаж).

Квазістатичний режим – це режим відпрацьовування одиничних кроків, при якому перехідні процеси від попереднього такту комутації повністю загасли й швидкість ротора на по-чатку наступного кроку дорівнює нулю. Він використовується в механізмах, у яких потрібна фіксація ротора після кожного кроку. Гранична частота керуючих імпульсів, при якій ще витримується квазістатичний режим, визначається часом протікання електромагнітних і особливо електромеханічних перехідних процесів, тобто часом коливань ротора. Підвищити граничну частоту руху ротора квазістатичного режиму можна шляхом збільшення числа обмоток статора або числа тактів комутації. У всіх цих випадках зменшується кут переміщення й кінетична енергія ротора, що зменшує його коливання у кінці кроку.

Перехідний режим – це основний експлуатаційний режим роботи крокового двигуна. Він містить у собі пуск, реверс, гальмування, перехід з однієї керуючої частоти на іншу. Фізичні процеси в перехідних режимах визначаються як параметрами двигуна і його навантаженням, так і початковими

умовами, при яких починається перехідний процес. Основна вимога до крокового двигуна в перехідних режимах полягає у відсутності втрати кроку, тобто збереження синхронізму при будь-якому характері зміни керуючих імпульсів. Пуск крокового двигуна здійснюється з нерухомого положення ротора шляхом стрибкоподібного збільшення частоти керуючих імпульсів (від нуля до робочої). При цьому ротор спочатку відстає від поля, потім, прискорюючись, досягає частоти обертання поля, випереджає його й внаслідок від'ємного синхронізуючого моменту знову сповільнює свій рух.

Внаслідок демпфування коливань швидкості обертання ротора вони швидко загасають і потім настає усталений режим.

Максимальна частота керуючих імпульсів, при якій можливий пуск без втрати кроку, росте зі збільшенням максимального синхронізуючого моменту, зменшенням кроку, зниженням постійної часу обмоток, навантаження й моменту інерції. Для сучасних крокових двигунів вона дорівнює 100-1000 Гц. Гальмування крокового двигуна здійснюється стрибкоподібним зниженням частоти керуючих імпульсів від робочого значення до нуля. Реверс крокового двигуна проводиться шляхом зміни послідовності комутації струмів в обмотках, що приводить до зміни напрямку обертання магнітного поля на протилежний. Гранична частота керуючих імпульсів, при якій реалізується реверс без втрати кроку, завжди менше частоти при якій здійснюється пуск і становить 20-50% від цієї частоти.

15.3. Виконавчі двигуни змінного струму

До двигунів змінного струму належать синхронні, крокові (різновид синхронних) та асинхронні двигуни. Їх об'єднує те, що їхніми обмотками протікають знакозмінні струми, а живляться вони від джерел знакозмінної напруги.

Статор електричних двигунів змінного струму являє собою осердя (магнітопровід) з листів електротехнічної сталі, у якому зроблено отвори (пази) для розміщення обмотки (фрагмент магнітопроводу статора подано на рис. 15.12). Обмотка складається з окремих секцій (катушок, рамок). У середині статора на підшипниках розташований ротор, спроможний вільно обертатися відносно своєї осі.



Рис. 15.12 – Магнітопровід статора двигуна змінного струму

На рис. 15.13 схематично показано поперечний переріз статора та ротора. На протилежних боках статора у двох пазах розташовані провідники елементарної катушки обмотки. Ця катушка виглядає так, як на рис. 15.3,в, і до неї можна подати напругу від стороннього джерела з тією чи іншою полярністю (як на рис. 15.3,в).

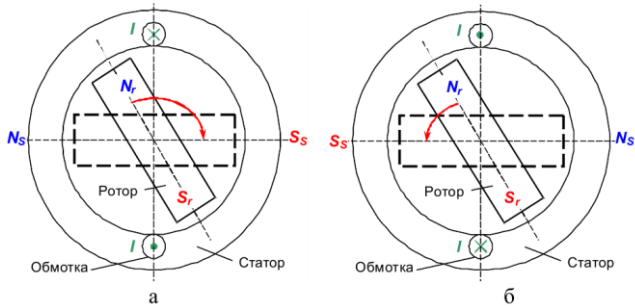


Рис. 15.13 – Поперечний переріз статора та ротора

На роторі розміщений постійний магніт (полюси N_r та S_r). Якщо до обмотки статора подати постійний струм такого напрямку, як показано на рис. 10а, виникає магнітне поле статора з полюсами N_s та S_s . Ротор повертається за годинниковою стрілкою, аби сумістити протилежні полюси полів ротора та статора (остаточне положення ротора показано штриховою лінією). Якщо полярність струму статора протилежна (рис. 15.13,б), полюси статора поміняються місцями, а ротор повертатиметься у протилежний бік.

ЕВМ з електродвигунами змінного струму найбільш широко застосовуються в системах промислової автоматики. В них використовуються асинхронні трифазні і однофазні електродвигуни. Однофазні двигуни застосовуються в малопотужних ВМ (до 600 Вт), а трифазні – при потужностях понад 500 Вт.

Однофазні асинхронні електродвигуни мають по дві обмотки – збудження і управління. Обмотка збудження підключається до мережі змінного струму, а на обмотку керування подається вхідний сигнал від підсилювального пристрою. Цей двигун можна розглядати як аперіодична ланка, якщо вихідна величина – кутова швидкість ротора. Якщо вихідним параметром є кут повороту ротора – це два послідовно з'єднані ланки, одна – аперіодична й інша – інтегруюча. В

порівнянні з двигунами постійного струму однофазні двигуни мають більший питомий об'єм на одиницю потужності і менший ККД, однак простота їх конструкції забезпечує високу надійність в експлуатації і малі витрати на обслуговування.

Асинхронні трифазні електродвигуни мають передавальну функцію аналогічну передавальній функції однофазних двигунів. Коефіцієнт передачі, значення електромагнітної і електромеханічної постійних часу цих передавальних функцій в обох випадках визначають за паспортними даними двигуна і механічним характеристикам двигуна, і робочої машини загальноприйнятими методами.

В основному в електродвигунних ВМ використовуються реверсивні приводи. Для їх управління застосовуються як контактні, так і безконтактні схеми, а також і їх поєднання.

За характером дії електродвигуни ВМ підрозділяються на позиційні і пропорційні.

Конструкція ВМ позиційної дії така, що з їх допомогою робочі органи можна встановлювати тільки в певні фіксовані положення. Найчастіше таких положень два: «відкрито» і «закрито». В загальному випадку можливо і існування багатопозиційних ВМ. Ці ВМ зазвичай не мають датчика зворотного зв'язку для отримання сигналу про становище робочого органу, в них використовуються в основному кінцеві вимикачі для обмеження переміщення робочого органу при подачі сигналу управління. Вони застосовуються в основному в дискретних системах управління.

ВМ пропорційної дії конструктивно такі, що забезпечують в заданих межах установку робочого органу в будь-яке проміжне положення з урахуванням величини і тривалості керуючого сигналу. Вони містять датчик зворотного зв'язку, що характеризує розташування робочого органу, і широко застосовуються в системах автоматики безперервної дії. В якості датчиків зворотного зв'язку в цих ВМ застосовуються потенціометричні реостатні й індукційні датчики, вихідний сигнал яких прямо пропорційний величині відхилення робочого

органу від початкового положення. Найчастіше, в ВМ встановлюється два однакових датчика, один з яких використовується для здійснення зворотного зв'язку за положенням робочого органу в системі автоматичного регулювання, а другий – для дистанційної вказівки його положення. Нерідко датчики зворотного зв'язку і кінцеві електричні вимикачі конструктивно об'єднані в один вузол, уніфікований для різних типів ВМ.

Поряд із загальнопромисловими ВМ застосовують спеціалізовані ВМ для керування засувками різних типів, перекидними клапанами і т.д.

На рис. 15.14 приведена кінематична схема комбінованого ВМ типу ПР-М з установкою його на двохсідельному регулюючому клапані.

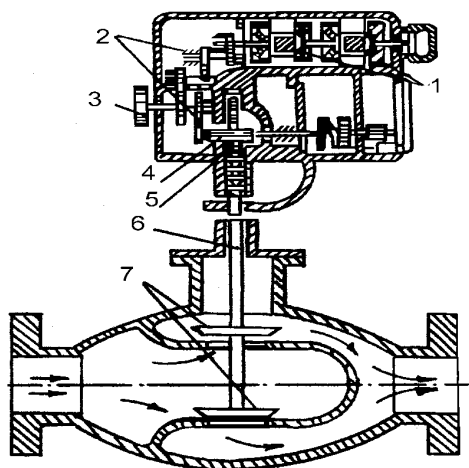


Рис. 15.14 – Кінематична схема електродвигунного ВМ

Він має асинхронний електродвигун (1), шестерний редуктор (2) для передачі крутного моменту від електродвигуна (1) на диск вихідного пристрою (3), або шестерню (4), що

забезпечує зворотно-поступальний рух рейки (5) і зчленованого з нею штока (6) клапанів (7).

Схеми дистанційного керування ВМ з двофазним конденсаторним і трифазним асинхронним електродвигунами наведені на рис. 15.15 і містять кнопки дистанційного керування SE1-SB3, якими відключаються і включаються обмотки котушок КМ1 і КМ2 реверсивного магнітного пускача. Відключення електродвигуна в крайніх положеннях «вправо» і «вліво» здійснюється кінцевими вимикачами SQ1 і SQ2. Кінцеві вимикачі (1) (рис. 15.16) встановлюються в корпусі ВМ і спрацьовують при натисканні на них одного з кулачків (6), повертаються разом з вихідним валом (5) ВМ. При відході кулачка (6) від вимикача (1) рухливий контакт (7) повертається у вихідне положення. У зв'язку з тим, що для електродвигунних ВМ характерний вибіг вихідного вала. Кулачки (6) впливають на контакти кінцевих вимикачів (1) через гнучкі пластини, що перешкоджає поломці кінцевих вимикачів (1). Величину кутів вала ВМ, при яких спрацьовують кінцеві вимикачі (1), можна вручну регулювати поворотом кулачків (6) на осі вала. Кожен кулачок (6) закріплюється стопорним болтом (4).

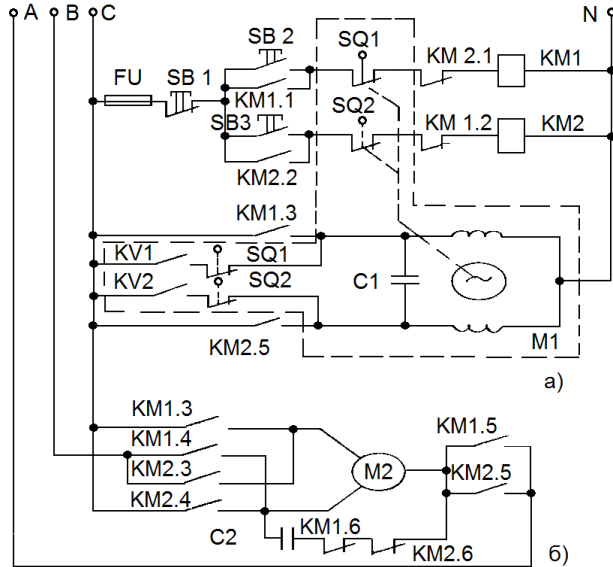


Рис. 15.15 – Принципові схеми керування електродвигунами ВМ
 а – однофазний привід ВМ; б – трифазний привід ВМ

Слід зазначити, що використовується також варіант підключення кінцевих вимикачів в ланцюг обмоток ВМ, зображений штриховими лініями, при цьому контакти SQ1 і SQ2 з ланцюгів котушок KM1 і KM2, природно, виключаються (КУ1, КУ2-контакти реле регулятора).

Для зменшення кута вибігу ВМ після відключення його електродвигуна від мережі паралельно одній з фаз обмотки статора трифазного двигуна розмикаючі контакти KM1.6 і KM2.6 магнітного пускача включається електричний конденсаторний гальмо С2. Електродвигуни ВМ можуть бути не тільки пристроями позиційної дії, а забезпечені датчиками (2) (реостатами) зворотного зв'язку по положенню вихідного вала використовуються системах управління, забезпечуючи закони П, ПІ і ПІД-регулювання.

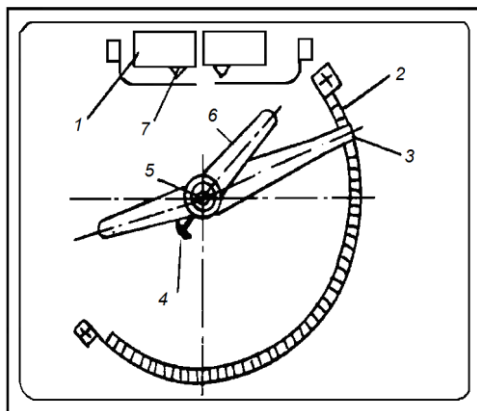


Рис. 15.16 – Кінематична схема вузла комутації електродвигуна ВМ і вузла реостата ОС

Повзунок (3) (див. рис. 15.16) датчика ОС закріпленій через кронштейн на вихідному валу ВМ. Сам реостат (2) нерухомо закріпленій на корпусі ВМ. При цьому він може бути використаний для підключення приладу-показчика положення робочого органа (РО), наприклад, вольтметра зі шкалою, відградуваний у відсотках ступеня відкриття РО. Положення повзунка реостата (2) і величини кутів повороту вала ВМ, при яких спрацьовують вимикачі, можна вручну регулювати поворотом кронштейна і кулачків (6) на осі вала (5), кожен з яких закріплюється стопорним болтом (4).

Розроблено і випускається промисловістю цілий ряд багатооборотних електричних ВМ з постійною швидкістю обертання вихідного вала. Незважаючи на конструктивні і схемні відмінності, всі ці ВМ в загальному випадку дозволяють виробляти: дистанційний або автоматичний пуск і зупинку електропривода в будь-якому проміжному положенні РО, автоматичну зупинку електропривода при надмірному зростанні крутного моменту, дистанційну світлову сигналізацію крайніх положень РО, місцеве і дистанційне визначення будь-якого проміжного положення РО, електричне блокування даного

електроприводу з іншими механізмами і агрегатами, ручне управління ВМ за допомогою маховика.

Основні характеристики однооборотних і багатооборотних ВМ наведені в таблицях 15.2 і 15.3 відповідно.

Таблиця 15.2

Однооборотні ВМ

Тип	Номін. оберт. момент, Н-м	Кут оберту вих. валу, град.	Час одного обер. вих. валу, с	Номін. потужність електродв., кВт	Опір датчика зв. зв'язку, Ом
МЭК-10К/120	10	0 - 90 0 - 270	120	0,019	120
МЭК-25К/40	25	0 - 90 0 - 270	40	0,27	120
МЭК-63/100	63	0 - 90 0 - 270	100	0,12	120
МЭО-160/100К	160	0 - 90 0 - 240	100	0,27	250
МЭО-1000/250К	1000	0 - 90 0 - 240	250	0,4	250

Таблиця 15.3

Багатооборотні ВМ

Тип	Номін. оберт. момент, Н-м	Час одного обер. вих. валу, с	Номін. потужність електродв., кВт
МЭМ-0,63/1	0,63	1,0	0,12
МЭМ-1,6/2,5	1,6	2,5	0,05
МЭМ-4/6,3	4,0	6,3	0,12
МЭМ-10/1	10,0	1,0	0,6
МЭМ-25/2,5	25,0	2,5	0,4

Контрольні питання:

1. Наведіть класифікацію електричних двигунів за принципом дії.
2. Як двигуни розрізняють залежно від роду електричного струму, що використовують для живлення?

3. Як двигуни розрізняють залежно від типу регулюючого органу?
4. Наведіть недоліки виконавчих двигунів постійного струму?
5. Причини відносно низької надійності двигунів постійного струму.
6. Принцип дії крокового двигуна.
7. Що називається механічним кроком двигуна?
8. Що називається перехідним режимом роботи крокового двигуна?
9. Які двигуни відносяться до двигунів змінного струму?
10. Як поділяють електродвигунні ВМ за характером дії?

16. МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕЛЕКТРОДВИГУННИХ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Аналіз тенденцій у вітчизняних і зарубіжних системах автоматизації технологічних процесів, показує, що в них все

більш широко використовуються електроприводи. Електроприводи нових серій – це приводи з високомоментними двигунами постійного струму, асинхронними двигунами, безколекторними двигунами постійного струму і силовими кроковими двигунами.

Особливістю електроприводів є розширений (до 0,05 Н·м) діапазон малих моментів, підвищена (до 15000 об/хв) максимальна частота обертання, зменшена інерція двигунів, можливість вмонтування в двигуни електромагнітних гальм і різних датчиків, а також механічних і хвильових передач.

Основні переваги електроприводів такі:

- компактна конструкція двигунів;
- висока швидкодія;
- рівномірність обертання;
- високий крутний момент на максимальній швидкості;
- висока надійність (ступінь захисту IP54);
- висока точність, в тому числі за рахунок можливості застосування сучасних цифрових і обчислювальних систем управління;
- низькі рівні шуму і вібрацій;
- тривала експлуатація без перевірки і обслуговування, особливо при використанні безколекторних і асинхронних двигунів;
- взаємозамінність двигунів;
- компактна конструкція підсилювально-перетворюючих пристроїв;
- доступність і дешевизна електричної енергії.

До недоліків електроприводів можна віднести:

- наявність щіток в колекторах двигунів постійного струму;
- обмежене використання у вибухонебезпечних і пожежонебезпечних середовищах і приміщеннях;
- велика залежність швидкості вихідного вала від навантаження, що призводить до необхідності застосування додаткових контурів регулювання приводу;

- наявність додаткового кінематичного ланцюга між електродвигуном і робочим регулюючим органом.

Вибір електродвигунних ВМ повинен починатися з докладного з'ясування технічних вимог, що пред'являються до цих елементів.

У технічних вимогах повинні бути вказані:

- статичні і динамічні параметри елементів (передавальний коефіцієнт і постійні часу, час спрацьовування і відпускання, допустима зона нечутливості і т.д.);

- допустимі межі зміни зазначених вище параметрів;

- величини вхідних і вихідних потужностей елементів, і інтенсивність цих впливів (величини електричної напруги або струмів, величини швидкостей або переміщень і т.д.);

- види і параметри джерел допоміжної енергії (частота і напруга електричних джерел), і межі зміни цих параметрів в експлуатації;

- допустиме споживання потужності від джерел енергії;

- допустимі габаритні розміри і маса пристрою;

- умови експлуатації (межі зміни навколишньої температури, тиск і вологість повітря, вплив умов навколишнього середовища, вплив прискорень і т.д.);

- термін служби пристрою в заданих умовах експлуатації;

- необхідна надійність пристрою;

- вартість і т.д.

Основною вимогою, що пред'являються до елементів з точки зору загальної системи приладів і засобів автоматизації, є вимога стандартизації параметрів, які визначають його зв'язок з зовнішніми елементами. Розрізняють три види зовнішнього зв'язку: інформаційні (вхідні та вихідні сигнали), енергетичні – зв'язки з джерелами живлення, і речові (конструктивні) – зв'язки із загальною конструкцією, з виходом попереднього і входом подальшого пристроїв і джерелами живлення.

Основним завданням енергетичного розрахунку електродвигунних ВМ є вибір серійного виконавчого пристрою.

Вирішення цього завдання є ітераційним процесом, в результаті якого з числа серійних вибирається ВМ, що задовольняє технічним вимогам.

На підставі технічних вимог встановлюються параметри, яким повинен відповідати обраний двигун ВМ:

- необхідний крутний момент (перестановочне зусилля);
- кутові (лінійні) швидкості і прискорення;
- потужність приводу;
- оптимальне передавальне число між двигуном і механічним навантаженням.

Для правильного вибору потужності двигуна ВМ потрібно мати приводні характеристики навантаження або об'єкта регулювання. Наприклад, для силового приводу обертальної дії необхідно знати: момент інерції навантаження і всіх, з'єднаних і обертаються з нею частин, моменти тертя, зовнішній збурюючий момент, максимальні значення переміщення, кутові швидкості і прискорення навантаження і т.д. Завдання полягає в тому, щоб вибрати двигун відповідної потужності, що забезпечує переміщення механічного навантаження з певною швидкістю і прискоренням.

Тому при виборі раціонального електродвигунного ВМ приходиться взаємопов'язано розглядати конкретні етапи вибору двигуна, що відповідають загальній методиці вибору електроприводу:

1. За родом струму і значенням напруги;
2. За конструктивним виконанням і захисту від впливів навколишнього середовища;
3. За кутовою швидкістю обертання і її регулювання;
4. За потужністю двигуна, виходячи з умов:
 - допустимого нагріву при роботі;
 - забезпечення пуску електроприводу;
 - забезпечення статичної та динамічної стійкості;
 - забезпечення необхідної частоти включень.
5. За видом і рівнем схеми управління;
6. За надійності;

7. За економічною ефективністю.

Електричні схеми управління електродвигунних ВМ повинні відповідати таким технічним вимогам:

- живлення силових ланцюгів і ланцюгів управління здійснюється, як правило, від мережі змінного струму 380/220 В;

- схеми повинні мати захист від перевантажень і від коротких замикань в силових ланцюгах електроприводу, а також в ланцюгах управління і сигналізації;

- при монтажі схем управління і сигналізації контакти апаратів управління, кінцевих вимикачів, блокувальні ланцюги, блок – контакти магнітних пускачів і ін. повинні включатися з боку фази, а котушки пускачів – приєднуватися до нульового проводу (це запобігає помилковій роботі схеми при появі «землі» в ланцюгах управління);

- схема управління запірним пристроєм повинна забезпечувати можливість як дистанційного керування зі щита або з місця, так і автоматичного управління за командою від пристрою регулювання рух ВМ тільки під час дії імпульсу відповідно дистанційного або автоматичного управління;

- виключати можливість одночасної подачі командних імпульсів від пристроїв дистанційного і автоматичного управління, а також можливість подачі живлення на одну з котушок реверсивного магнітного пускача при обтіканні струмом другої котушки;

- схеми управління з двох або більше місць повинні бути побудовані так, щоб виключити можливість одночасного управління одним пристроєм з різних пунктів;

- схеми управління повинні забезпечити можливість зупинки ВМ в будь-якому проміжному положенні, а також можливість подальшої посылки команд, як на відкриття, так і на закриття:

- а) припинення помилково розпочатої операції і повернення в початкове положення;

- б) «ходіння» запірного пристрою;

в) поступове відкриття або закриття з нетривалими зупинками в проміжних положення, якщо це потрібно за умовами технологічного процесу;

- нормальна зупинка електродвигуна ВМ в положенні повного відкриття або закриття повинна здійснюватися за допомогою кінцевих вимикачів, що розривають ланцюг відповідної котушки магнітного пускача; коли запірні пристрої вимагають примусового ущільнення при закритті, зупинка електродвигуна ВМ повинна здійснюватися за допомогою контактної пристрою муфти граничного моменту або токового реле;

- як при ручному, так і при автоматичному управлінні схеми повинні мати нульовий захист;

- при найменшій кількості сигнальних ламп схема сигналізації положення запірної пристрою повинна показувати найбільшу кількість його станів (кінцеві положення, зупинка в проміжному положенні, сигналізація ходу, напрямку руху та ін.);

- схема контролю стану регулюючого пристрою повинна безперервно фіксувати його положення;

- схеми управління повинні бути побудовані таким чином, щоб для їх реалізації потрібно найменша кількість апаратури, кабелі з найменшою кількістю жил, кінцеві вимикачі з найменшою кількістю контактів.

16.1. Вибір двигуна за потужністю

При виборі двигуна за потужністю слід прагнути, щоб номінальна потужність двигуна була достатньо близька до необхідної потужності. Вибір двигуна з номінальною потужністю, яка набагато перевищує потрібну, призводить до того, що двигун протягом всього періоду експлуатації працює недовантаженим, а отже, з низькими значеннями ККД і коефіцієнта потужності, що веде до невиправданих

експлуатаційних витрат, при цьому зростають габаритні розміри, маса і вартість електроприводу. Визначаючи необхідну номінальну потужність приводного двигуна, спочатку обчислюють його розрахункову потужність $P_{роз}$. Методика визначення $P_{роз}$ залежить від режиму роботи електроприводу [29].

Якщо режим роботи електроприводу тривалий з постійним моментом навантаження, то розрахункова потужність приводного двигуна (кВт) дорівнює:

$$P_{роз} = M_c \omega \cdot 10^{-3} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c n_2, \text{кВт.}, \quad (16.1)$$

де M_c – статичний момент, Н·м;

n_2 – частота обертання валу двигуна, об/хв.

За каталогом на електродвигуни прийнятого принципу дії з урахуванням напруги і частоти обертання вибирають двигун з номінальною потужністю, яка на 10 – 20% перевищує розрахункову, тобто $P_{ном} = (1,1 \div 1,2)P_{роз}$.

Якщо режим роботи електроприводу повторно-короткочасний, то розрахункова потужність двигуна $P_{роз}$ вибирається залежно від відносної тривалості, як показано нижче (табл. 16.1).

Таблиця 16.1

Розрахункова потужність двигуна для повторно-короткочасний режиму роботи

ПВ, %	15	25	40	60
$P'_{роз}$	$0,4 P_{роз}$	$0,5 P_{роз}$	$0,62 P_{роз}$	$0,77 P_{роз}$

Примітка: $P_{роз}$ – розрахункова потужність двигуна для тривалого режиму роботи (16.1).

Вибраний тип двигуна слід перевірити на перевантажувальну здатність і на величину початкового пускового моменту. Мінімально допустиме значення

перевантажувальної здатності двигуна $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_{ном}} \geq 1,5$ (якщо

за умов роботи електроприводу не потрібне ще більше значення перевантажувальної здатності).

В таблиці 16.2 приведені значення коефіцієнтів миттєвого перевантаження двигунів.

Короткочасне перевантаження двигунів постійного струму визначається умовами комутації на колекторі, а асинхронних і синхронних двигунів – їх максимальним електромагнітним моментом.

Таблиця 16.2

Значення коефіцієнтів миттєвого перевантаження двигунів

Тип двигуна	Коефіцієнт перевантаження по моменту
Двигуни постійного струму	2 (для спеціальних типів до 3 – 4)
Асинхронні двигуни з контактними кільцями	2 – 2,5
Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором нормального виконання	1,7 – 2,5
Короткозамкнуті двигуни з подвійною кліткою або з глибоким пазом	1,7 – 2,6
Синхронні двигуни	2 – 2,5 (для спеціальних типів до 3 – 4)
Колекторні двигуни змінного струму	2 – 2,5

Якщо режим роботи електроприводу тривалий із змінним навантаженням, то навантаження на валу двигуна

змінне, тобто статичний момент електроприводу змінюється в часі. При цьому у приводному двигуні має місце несталый тепловий процес (рис. 16.1), оскільки в різні відрізки часу t_1, \dots, t_6 . втрати потужності неоднакові. Графік нагрівання двигуна $\tau = f(t)$, в цьому режимі має вид ламаної кривої лінії.

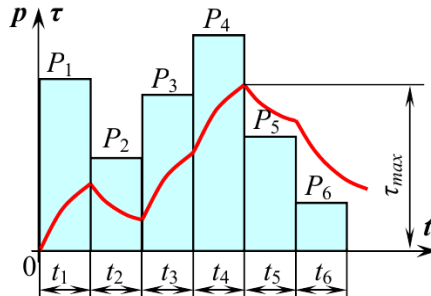


Рис. 16.1 – Графік змінного навантаження електродвигуна [35]

Для визначення необхідної номінальної потужності приводного двигуна в цьому режимі діють таким чином. Спочатку визначають попереднє розрахункове значення потужності двигуна, кВт:

$$P_{роз} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)}{6}, \text{кВт}, \quad (16.2)$$

де P_1, P_2, \dots – потужності на валу двигуна в різні відрізки часу, кВт;

n_1 – кількість відрізків часу, відповідних різним потужностям на валу двигуна.

За отриманим значенням $P'_{роз}$, заздалегідь вибирають приводний двигун, номінальна потужність якого на 10 – 20%

перевищує $P'_{роз}$, тобто $P'_{роз} = (1,1 \div 1,2)P'_{роз}$. Потім, користуючись технічними даними вибраного типу двигуна, визначають уточнене значення розрахункової потужності $P_{роз}$. Для цього використовують метод еквівалентного струму, заснований на тому, що електричні втрати двигуна пропорційні квадрату струму навантаження, тобто $\sum P_{зм} = c_p I^2$, де c_p – коефіцієнт пропорційності між струмом навантаження двигуна і потужністю змінних втрат. Skorиставшись графіком змінного навантаження двигуна (рис. 16.1), запишемо формулу для розрахунку сумарних втрат енергії за весь час роботи електроприводу:

$$\sum W_{зм} = (\sum P_{ном} + c_p I_1^2)t_1 + (\sum P_{ном} + c_p I_2^2)t_2 + (\sum P_{ном} + c_p I_3^2)t_3 + \dots + (\sum P_{ном} + c_p I_n^2)t_n, \quad (16.3)$$

де $\sum P_{ном}$ – сумарні втрати двигуна, рівні сумі магнітних і механічних втрат;

I_1, I_2, I_3, \dots – струми, які споживаються двигуном у відрізки часу – відповідно.

Якби приводний двигун працював протягом часу t з постійним навантаженням, то втрати енергії в ньому визначалися би виразом:

$$\sum W_{ном} = (\sum P_{ном} + c_p I_{екв}^2)t, \quad (16.4)$$

де $I_{екв}$ – еквівалентний струм двигуна, працюючи з яким при постійному навантаженні двигун за час t нагрівається до такої ж температури, як і при роботі із змінним навантаженням за той же час.

Таким чином, втрати енергії в двигуні при роботі з тривалим змінним навантаженням згідно з графіком навантаження за час t , рівні втратам енергії цього ж двигуна, що працює з пос-тійним навантаженням і струмом $I_{екв}$, тобто $\sum W_{зм} = \sum W_{пост}$. Використовуючи вирази (16.3) і (16.4), після відповідних перетворень отримаємо вираз для еквівалентного струму (А):

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots + I_n^2 t_n}{t}}. \quad (16.5)$$

Струм $I_{екв}$ не повинен перевищувати номінальний струм заздалегідь вибраного двигуна ($I_{екв} < I_{ном}$). Якщо ця умова не виконується, то слід вибрати тип двигуна з більшою номінальною потужністю.

Метод еквівалентного струму при визначенні номінальної потужності приводного двигуна припускає постійність магнітних і механічних втрат $\sum P_{пост} = const$. Якщо ж двигун працює при магнітних і механічних втратах, які змінюються, то метод дає значну помилку. Це відноситься, наприклад, до двигунів з послідовним збудженням, в яких зміна струму якоря супроводиться зміною магнітного потоку, а отже, і зміною величини магнітних втрат.

Вибраний за каталогом двигун слід перевірити на перевантажувальну здатність, тобто переконатися, що найбільший момент навантаження, визначуваний діаграмою (рис. 16.1) на-вантаження, не порушить стійкої роботи двигуна. При цьому необхідно врахувати можливі пониження напруги в мережі живлення. Двигун також потрібно перевірити за величиною початкового пускового моменту з урахуванням як статичного моменту навантаження, так і динамічного моменту.

При виборі приводного електродвигуна слід мати на увазі спосіб монтажу і виконання двигуна за видом захисту: гори-зонтальне або вертикальне розташування валу, монтаж двигуна на лапах або за допомогою фланця на передньому підшипниковому щиті, закрите або захищене виконання, або ж двигун вибухозахищеного виконання.

При виборі асинхронних двигунів слід скористатися каталогом на трифазні асинхронні двигуни серії 4А, а при виборі двигуна постійного струму – каталогом на машини постійного струму серії 2П. Двигуни вказаних серій є найбільш вдосконаленими за своїми техніко-економічними показниками і широко застосовуються у всіх галузях народного господарства. Якщо ж двигуни вказаних серій не задовольняють вимогам, що пред'являються, то слід вибрати двигун якої-небудь серії спеціального призначення.

Контрольні питання:

1. Яким технічним вимогам повинні відповідати електричні схеми управління електродвигунних ВМ?
2. Чому повинна дорівнювати розрахункова потужність приводного двигуна, якщо режим роботи електроприводу тривалий з постійним моментом навантаження?
3. На що слід перевірити вибраний тип двигуна?
4. За якими умовами перевіряється короткочасне перевантаження двигунів постійного струму?
5. За якими умовами перевіряється короткочасне перевантаження асинхронних і синхронних двигунів?

17. ТАХОГЕНЕРАТОРИ

Тахогенератори (ТГ) – електричні інформаційні мікромашини для перетворення механічного обертання вала в електричний сигнал.

За родом струму тахогенератори поділяють на ТГ постійного струму (ТГПС) і ТГ змінного струму, останні, у свою чергу на асинхронні і синхронні [35].

Тахогенератори застосовуються:

- для вимірювання швидкості обертання машин і механізмів;

- для осцилографування кривих зміни швидкості обертання валів у функції часу, наприклад, при розгоні, гальмуванні, реверсі електродвигунів;

- для здійснення зворотного зв'язку в наступних системах.

Основні вимоги, які пред'являються до ТГ відносно точності:

- лінійність вихідної характеристики $U_{вих} = f(n)$, де $U_{вих}$ – вихідна напруга ТГ, n – швидкість обертання. Практично це означає мінімум амплітудної похибки, що виражається як різниця між ординатами ідеальної (лінійної) і реальної вихідних характеристик;

- мінімум фазової похибки – мінімум зміни фази вихідної напруги при зміні швидкості обертання (для ТГ змінного струму);

- симетричність вихідної характеристики – незмінність її крутизни при зміні напрямку обертання;

- мінімальна вихідна напруга при нерухомому роторі і мінімальна зона нечутливості;

- мінімальні пульсації вихідної напруги.

Крім вимог точності, слід зазначити інші:

- велика крутість вихідної характеристики;

- стабільність вихідних характеристик при зміні умов експлуатації – температури, тиску, вологості, вібрацій при припустимих коливаннях напруги збудження;
- надійність, простота конструкції;
- мінімум радіоперешкод і шумів;
- мінімум власного моменту опору (особливо при рушанні) й інерційності ротора;
- мінімальна вага і габарити.

17.1. Тахогенератори постійного струму

Залежно від системи збудження ТГ постійного струму бувають із збудженням від постійних магнітів (з магнітоелектричним збудженням) і з електромагнітним збудженням. Електричні схеми відповідних тахогенераторів показані на рис. 17.1.

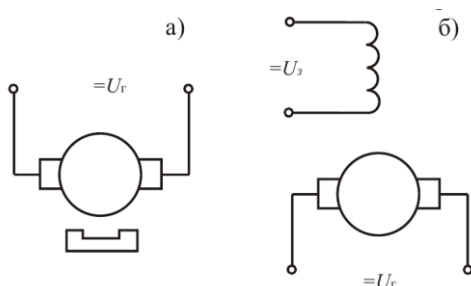


Рис. 17.1 – Електричні схеми ТГ постійного струму
 а) з магнітоелектричним збудженням; б) з електромагнітним збудженням

Конструкції тахогенераторів постійного струму практично нічим не відрізняються від конструкцій виконавчих двигунів постійного струму і можуть мати барабанний якір, або полий чи дисковий якір.

При незмінному потоці збудження Φ ЕРС генераторної (якірної) обмотки пропорційна швидкості обертання n :

$$E = c_e \Phi n = kn, \quad (17.1)$$

де c_e – конструктивний коефіцієнт, що залежить тільки від конструктивних особливостей машини;

k – постійний коефіцієнт.

Вираз (17.1) є основою для використання машини постійного струму як тахогенератора і є рівнянням вихідної характеристики ТГ при холостому ході, тобто при розімкненому ланцюзі якоря.

При підключенні обмотки якоря до пристрою з кінцевим значенням вхідного опору і при сталості магнітного потоку збудження вихідна напруга буде менше ЕРС якоря на величину падіння напруги в ланцюзі якоря:

$$U = E - I_a R_a = E - (U/R_H) R_a, \quad (17.2)$$

де $I_a R_a$ падіння напруги в обмотці якоря;

R_a, R_H – опори обмотки якоря і навантаження, відповідно;

I_a – струм якоря.

З виразів (17.1) і (17.2) отримаємо рівняння вихідної характеристики тахогенератора:

$$U = \frac{E}{1 + R_a / R_H} = \frac{c_e \Phi n}{1 + R_a / R_H} = kn, \quad (17.3)$$

$$k = \frac{c_e \Phi n}{1 + R_a / R_H} \text{ – крутість вихідної характеристики ТГ.}$$

Із цього виразу слідує, що при ідеалізованих умовах ($\Phi = const$ і $R_{\gamma} = const$) характеристики ТГ постійного струму є лінійними,

а їхній кут нахилу до осі абсцис (крутість характеристики) зменшується при зниженні опору навантаження (суцільні лінії на рис. 17.2), причому $R_{n1} > R_{n2}$.

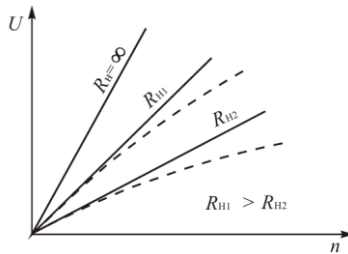
Крутість вихідної характеристики сучасних ТГ постійного струму при холостому ході становить 3...100 мВ/(об/хв).

Практично вихідна характеристика відхиляється від лінійної залежності в результаті наступних причин:

1) дії реакції якоря, що розмагнічує (пунктирні лінії на рис. 17.2);

2) зміни струму збудження через збільшення опору обмотки збудження при її нагріванні (для ТГ з електромагнітним збудженням);

3) наявності нелінійного опору в перехідному контакті між колектором і щітками.



Рисю 17.2 – Вихідна характеристика ТГ

Нелінійність зміни вихідної напруги є напівсумою абсолютних значень найбільшої позитивної і найбільшої негативної похибок вихідної напруги в окремих точках характеристики. При цьому похибка вихідної напруги при деякій усталеній швидкості обертання у відсотках обчислюється за формулою:

$$\Delta U = (U / U_{ном} - n / n_{ном}) \cdot 100,$$

де U – вихідна напруга при усталеній швидкості обертання n ;

$U_{ном}$ – вихідна напруга при номінальній швидкості обертання $n_{ном}$.

Вплив реакції якоря в ТГ постійного струму проявляється в зменшенні потоку збудження Φ на деяку величину $\Delta\Phi$ при протіканні по якірній обмотці струму і створенні відповідного потоку якоря. Оскільки струм I_y збільшується при збільшенні швидкості обертання, відповідно зменшується і крутість характеристики. Щоб зменшити вплив дії реакції якоря, що розмагнічує, у ланцюзі навантаження бажано мати максимально великий опір R_H і працювати при невеликих відносних швид-костях обертання (до 0,5 від $\omega_{допустимой}$). В цьому випадку реакція якоря буде малою.

Зменшення крутизни характеристики викликається також зменшенням потоку збудження Φ через зменшення струму збудження (у ТГ із електромагнітним збудженням). Останнє відбувається при зменшенні напруги живлення і нагріванні обмотки збудження. Причому вплив нагрівання звичайно виявляється більше істотним, ніж коливання напруги джерела збудження. Наприклад, нагрів обмотки на 25°C викликає збільшення її опору на 10%. Рисунок 17.3 показує ступінь зміни потоку збудження в сильно насичених ($\Delta\Phi''$) і слабо насичених ($\Delta\Phi'$) магнітних ланцюгах.

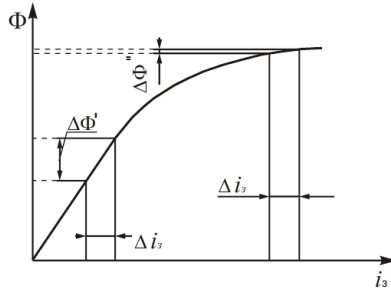


Рис. 17.3 – Зміна потоку збудження

Тому магнітна система ТГ із електромагнітним збудженням звичайно виконується сильно насиченою, тобто робочу точку на кривій намагнічування вибирають вище коліна, де навіть значні зміни струму збудження не викликають великих змін магнітного потоку. При цьому зводиться до мінімуму вплив реакції якоря і нагрівання обмотки збудження.

Крім того, часто послідовно з обмоткою збудження включають або терморезистор, що стабілізує опір ланцюга збудження, або досить великий додатковий резистор, зроблений з матеріалу з малим температурним коефіцієнтом опору.

Тахогенератор з магнітоелектричним збудженням не має похибок, що виникають в результаті коливань магнітного потоку від вказаних причин. Істотним достоїнством такого ТГ є також те, що він не потребує джерела живлення.

Нелінійний характер опору щіткового контакту також може створювати певну похибку у порівнянні з ідеалізованою характеристикою. З огляду на те, що спадання напруги під парою щіток ($2\Delta U_{щ}$) можна приблизно вважати постійним і незалежним від струму навантаження, рівняння (17.3) можна записати у вигляді:

$$U = \frac{E - 2\Delta U_{щ}}{1 + R_{я} / R_H} = \frac{c_e \Phi \cdot n}{1 + R_{я} / R_H} - \frac{2\Delta U_{щ}}{1 + R_{я} / R_H}.$$

При цьому вихідна характеристика залишається лінійною, однак в області малих швидкостей обертання ТГ стає не-чутливим до зміни m – з'являється зона нечутливості Oa (рис. 17.4).

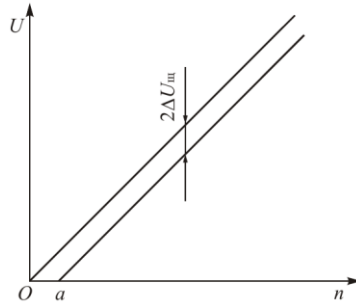


Рис. 17.4 – Зона нечутливості

Для зменшення цього виду похибки в ТГ постійного струму застосовуються щітки з низьким падінням напруги перехідного контакту (металографітові, зі срібними і золотими напайками). При цьому зона нечутливості практично зводиться до нуля.

Вихідна напруга ТГ постійного струму має певні пульсації. Розрізняють такі види пульсацій: якірні, зубцеві і колекторні.

Якірні пульсації мають частоту $f_J = 2n/60$ Гц, зубцеві мають частоту $f_Z = zn/60$ Гц і колекторні – частоту $f_K = k_k n/60$ Гц. Тут n – швидкість обертання ротора, об/хв;

z – число зубців якоря;

k_k – число колекторних пластин. Величина пульсацій може досягати декількох відсотків від середнього значення вихідної напруги.

Основними методами боротьби із зазначеними пульсаціями є конструктивно-технологічні і використання фільтрів.

Крім зазначених, можливі також похибки, обумовлені неточністю установки щіток на геометричну нейтраль. Таке явище приводить, зокрема, до асиметрії вихідної напруги, тобто до різної крутизни характеристики при правому і лівому обертанні ротора. При цьому під помилкою асиметрії вихідної напруги розуміють різницю між вихідними напругами при правому і лівому обертанні з однаковою швидкістю.

Класифікація тахогенераторів постійного струму за точністю проводиться за значеннями нелінійності та асиметрії вихідної напруги у відповідності з табл. 17.1.

Таблиця 17.1

Класи точності ТГПС

Показник	Тахогенератори						
	Високоточні		Точні		Низькоточні		
	Клас точності						
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,5
Нелінійність зміни вихідної напруги, %, не більше	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	-	-
Асиметрія вихідної напруги, %, не більше	±0,025	±0,05	±0,125	±0,25	±0,5	±1,25	±2,5

Високоточні тахогенератори постійного струму рекомендується застосовувати в прецизійних швидкісних наступних системах, точні – в ланцюгах стабілізації швидкісних систем середньої точності, низькоточні – в ланцюгах корекції позиційних наступних систем.

Гідностями тахогенераторів постійного струму є:

- відсутність для них похибки (амплітудної і фазової), пов'язаної з характером навантаження (активної, індуктивної, ємнісної);
- досить висока крутість характеристики.

До недоліків ТГ постійного струму, в першу чергу, варто віднести наявність ковзного контакту, що знижує надійність, вносить похибку і нестабільність вихідної напруги і появу іскріння під щітками, що створює радіоперешкоди. Останнє в більшості випадків потребує використання фільтрів.

Крім того, вихідна напруга ТГ постійного струму має пульсації.

17.2. Тахогенератори змінного струму

Тахогенератори змінного струму поділяються на синхронні й асинхронні.

Синхронні ТГ звичайно виконуються як однофазні із зіркоподібним ротором з постійних магнітів. У їхній конструкції відсутні ковзні контакти. При обертанні ротора в генераторній обмотці наводиться ЕРС, амплітуда і частота якої пропорційні швидкості обертання ротора. Це призводить до зміни реактивних опорів як самого ТГ, так і навантаження, що істотно спотворює вихідну характеристику. У приладобудуванні синхронні ТГ використовуються порівняно рідко, в основному в системах, де інформаційним параметром є частота сигналу.

Асинхронні ТГ (АТ) конструктивно нічим не відрізняються від двофазних виконавчих асинхронних двигунів з порожнім немагнітним ротором.

Електрична схема такого ТГ наведена на рис. 17.5. АТ має два статори (зовнішній і внутрішній), у повітряний зазор між якими поміщається немагнітний ротор у вигляді порожнього циліндра. Дві обмотки виконуються так, щоб їхні осі були зсунуті одна відносно одної на 90° .

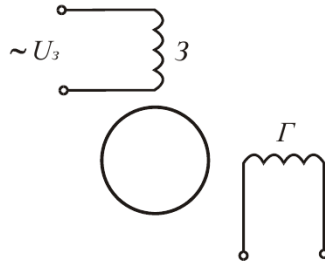


Рис. 17.5 – Електрична схема асинхронного ТГ

Одна обмотка називається обмоткою збудження (З), інша – генераторною (Г). Конструктивно обмотки можуть розташовуватися:

а) обидві обмотки на зовнішньому статорі;

б) одна обмотка на зовнішньому статорі, а інша – на внутрішньому статорі.

В останньому випадку шляхом відносного зсуву статорів вдається одержати більш точну взаємну перпендикулярність осей обмоток.

Обмотка збудження включається в мережу змінного струму напругою U_3 і при протіканні по ній змінного струму створює потік Φ_d , що пульсує із частотою f_1 , тобто із частотою прикладеної напруги. Вісь цього потоку збігається з віссю обмотки збудження (рис. 17.6), що називається поздовжньою віссю $d-d$. Відповідно потік, створюваний обмоткою збудження, називають поздовжнім. Вісь $q-q$, перпендикулярну осі обмотки збудження, називають поперечною.

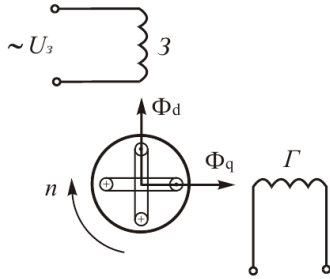


Рис. 17.6 – До принципу дії асинхронного ТГ

При нерухомому роторі пульсуючий магнітний потік Φ_d наводить у роторі трансформаторну ЕРС, що створює струм I_d . Оскільки цей потік перпендикулярний до осі генераторної обмотки Γ , то ЕРС у ній при нерухомому роторі наводитися не буде.

При обертанні ротора яким-небудь стороннім механізмом з кутовою швидкістю n в кожному елементі тіла ротора крім трансформаторної ЕРС індуктується ще і ЕРС обертання, пропорційна Φ_d і n . Напрямок її може бути визначені за правилом правої руки. Під дією цієї ЕРС виникають поперечний струм ротора I_p і поперечний потік Φ_q , які змінюються в часі із частотою мережі і пропорційні швидкості обертання ротора. Частота ЕРС генераторної обмотки не залежить від кутової швидкості обертання ротора і завжди дорівнює частоті мережі, від якої живиться обмотка збудження.

Таким чином, в ідеалізованому тахогенераторі ЕРС у вихідній обмотці прямо пропорційна швидкості обертання ротора (його вихідна характеристика є лінійною). У реальних умовах роботи ТГ ця характеристика відхиляється від лінійної залежності, тобто з'являється амплітудна похибка. Причинами, що викликають появу цієї похибки, є:

- а) технологічні неточності при виготовленні;

б) електромагнітна реакція ротора, що змінює величину потоків Φ_d і Φ_q при зміні режиму роботи ТГ (швидкості обертання і навантаження);

в) зміна деяких параметрів ТГ при зміні швидкості обертання (наприклад, опору порожнього ротора);

г) зміна опору обмоток і магнітного опору по різних осях при зміні зовнішніх умов.

Через технологічні погрішності при виготовленні ТГ (насамперед відхилень обмоток З и Г від взаємно перпендикулярного положення, допусків у величині повітряного зазору і товщині порожнього ротора) у вихідній обмотці при нульовій швидкості ротора індуктується деяка залишкова ЕРС $E_{зал}$, що називається нульовим сигналом.

Шкідливий вплив залишкової ЕРС полягає в тому, що відбувається зміщення вихідної характеристики з початку координат і з'являється додаткова змінна амплітудна і фазова похибка, особливо в зоні малих швидкостей обертання ротора.

Приблизний характер зміни залишкової ЕРС залежно від кута повороту ротора показаний на рис. 17.7.

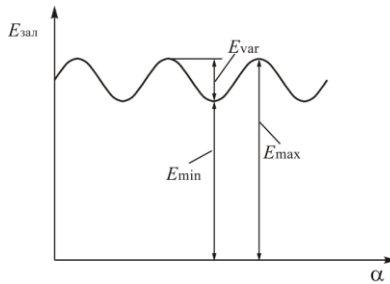


Рис. 17.7 – Характер зміни залишкової ЕРС

У асинхронних ТГ, що випускаються серійно, залишкова ЕРС становить 25...100 мВ; змінна складова її має значення 3...10 мВ.

При малих швидкостях обертання ротора, коли ЕГ має невелику величину, це дає велику відносну погрішність. Для зменшення постійної складової залишкової ЕРС дослідним шляхом здійснюють відносно зміщення внутрішнього і зовнішнього статорів, якщо обмотки З и Г розміщені на двох статорах.

При розгляді ідеалізованого ТГ передбачається, що величина потоку Φ_d залишається незмінною у всіх режимах роботи машини. У дійсності цей потік змінюється при зміні швидкості обертання і струму навантаження в обмотці Г через такі фактори.

По-перше, під дією потоку Φ_q в елементах порожнього ротора індуктується ЕРС обертання E'_{BP} і виникають відповідні струми I'_{BP} , які розподілені щодо осей машини так само, як і струми I_{TP} , створювані трансформаторними ЕРС E_{TP} . При цьому в машині з'являється додаткова поздовжня складова потоку, що змінює струм в обмотці збудження. У результаті змінюється ЕРС, поздовжній потік і ЕРС E_G у вихідній обмотці. Потік Φ_q пропорційний швидкості обертання ротора, тому ЕРС

E'_{BP} і струми I'_{BP} будуть пропорційні вже квадрату цієї частоти. Зі збільшенням швидкості обертання вони будуть нелінійно зменшувати магнітний потік Φ_q і ЕРС ЕГ. Похибки, викликані зміною поздовжнього потоку від реакції ротора, можна зменшити підвищенням активного опору ротора. Для цього застосовують як матеріал ротора фосфористу бронзу, питомий опір якої в 2 рази вище, ніж в алюмінію при досить малому температурному коефіцієнті опору. При цьому, щоправда, знижується крутість вихідної характеристики. Для її підвищення приходиться збільшувати число витків генераторної обмотки, що пов'язане зі збільшенням її внутрішніх опорів.

По-друге, при підключенні генераторної обмотки до зовнішнього навантажувального опору z_H по ній протікає струм

I_G і створюється відповідний потік. Тому результуючий потік по поперечній осі в цьому випадку відрізняється від потоку при холостому ході. Крім того, вихідна напруга ТГ при навантаженні буде менше, ніж при холостому ході, за рахунок падіння напруги у генераторній обмотці.

Похибка, обумовлена зміною потоку Φ_d і підключенням навантаження, буде тим більше, чим більше опір z_B і z_G обмоток статора і менше опір навантаження. Тому часто ТГ працюють у режимі, близькому до режиму холостого ходу ($z_G \approx \infty$).

Досить ефективним способом одержання вихідної характеристики ТГ, близької до лінійної, є обмеження діапазону робочих швидкостей обертання тахогенератора разом з підвищенням частоти живлення (для збереження діапазону виміру абсолютних швидкостей). Практично залежно від необхідної точності ТГ вибирають діапазон вимірювання відносної швидкості $\nu = 0,1 \dots 0,7$, що дає значення амплітудної похибки (0,1 К2)%.

Амплітудну похибку можна зменшити також шляхом відповідного калібрування ТГ, під яким розуміють установлення такого нахилу ідеальної характеристики (рис. 17.8,б, крива 2), при якій відхилення в середньому реальної характеристики 1 від ідеальної було б мінімальним. На рис. 17.8,а показані характеристики некаліброваного ТГ.

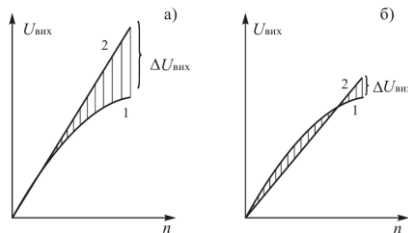


Рис. 17.8 – Вихідні характеристики некаліброваного (а) та

каліброваного (б) АТГ

В асинхронних ТГ похибка вихідної характеристики є комплексною величиною, тобто при зміні режиму роботи машини вихідна напруга змінюється не тільки за величиною, але і за фазою, що іноді призводить до небажаних наслідків. У всіх випадках при зміні швидкості обертання, зовнішнього навантаження, опору ротора від нагрівання, має місце зміна фази вихідного сигналу. Фазову погрішність звичайно визначають як різницю між фазовими зсувами ідеального $\Psi_{вих.ід}$ і реального $\Psi_{вих}$ ТГ:

$$\Delta\Psi = \Psi_{вих.ід} - \Psi_{вих}$$

Оскільки величина фазової похибки $\Delta\Psi$ залежить від тих же причин, що і величина амплітудної похибки, шляхи зменшення їх ті самі. Однак є і деякі особливості. На рис. 17.9 наведені графіки зміни амплітуди (рис. 17.9,а) і фази (рис. 17.9,б) від величини і характеру навантаження при постійній швидкості обертання, а на рис. 17.10 – амплітудної і фазової похибки від характеру навантаження і швидкості обертання. Із цих залежностей видно, що фазова похибка зменшується при активно – індуктивному навантаженні, але при цьому зростає амплітудна похибка. Найменша амплітудна погрішність має місце при ємнісному навантаженні; найменша фазова погрішність – при індуктивному навантаженні.

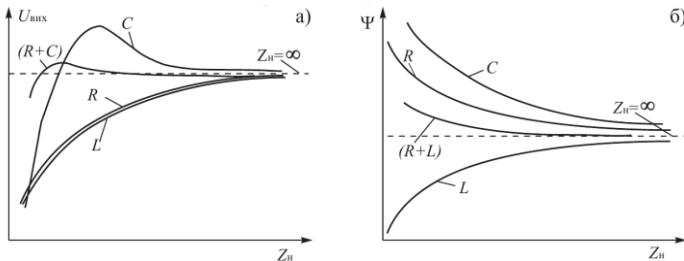


Рис. 17.9 – Графіки зміни амплітуди (а) і фази (б) вихідного сигналу АТГ від величини і характеру навантаження

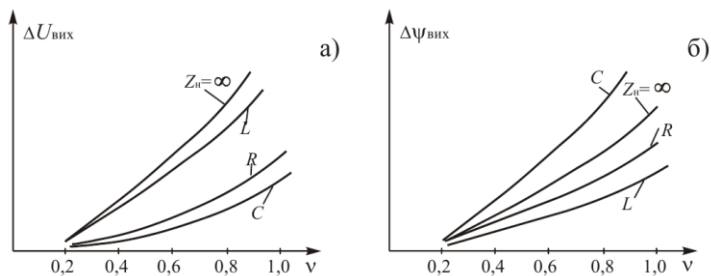


Рис. 17.10 – Залежність похибок АТГ від швидкості
а) амплітудна похибка; б) фазова похибка

Для зменшення фазової похибки треба до активного навантажувального опору додавати індуктивний, але при цьому зростає амплітудна погрішність. Для зменшення амплітудної похибки треба до активного навантажувального опору додавати ємнісний, але при цьому зростає фазова похибка.

Істотний вплив на точність асинхронного ТГ має зміна його опорів при нагріванні під час роботи. Для усунення температурної погрішності ротор звичайно виконують із матеріалів з низьким температурним коефіцієнтом опору або застосовують спеціальну температурну компенсацію.

Класифікація асинхронних ТГ за точністю проводиться за значеннями основних показників у відповідності з таблицею 17.1.

Таблиця 17.1

Класи точності асинхронних ТГ

Показник		Тахогенератори					
		Високоточні		Точні		Низькоточні	
		Клас точності					
		0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1,0
Нелінійність	зміни	±0,02	±0,05	±0,1	±0,25	±0,5	-

вихідної напруги, %, не більше	5					
Відношення залишкової ЕРС до крутизни, об/хв, не більше	15	20	20	20	25	50
Відношення змінної складової залишкової ЕРС до крутизни, об/хв, не більше	2	3	3	5	-	-
Фазова похибка від зміни швидкості обертання, кут. хв., не більше	±20	±20	±25	±30	-	-

Переваги асинхронних тахогенераторів перед ТГ постійного струму полягають у такому:

- простота конструкції, відсутність ковзних контактів і більш висока надійність;
- малий момент інерції ротора і малий власний момент тертя.

До недоліків асинхронних ТГ варто віднести наявність фазової погрішності, залежність крутизни вихідної характеристики від характеру навантаження, наявність нульового сигналу при нерухомому роторі, малу крутизну вихідної характеристики, малу вихідну потужність.

17.3. Динамічні властивості тахогенераторів

Динамічні властивості ТГ визначаються їх електромагнітною постійною часу T_{em} . Диференціальне рівняння, що пов'язує вихідний сигнал $U_{вих}$ із вхідним – кутом повороту його вала θ , має вигляд:

$$T_{em} \frac{dU_{вих}}{dt} + U_{вих} = k_n \frac{d\theta}{dt}, \quad (17.1)$$

де k_n – статичний коефіцієнт підсилення по напрузі, що обумовлений крутизною вихідної характеристики ТГ.

Відповідно до виразу (17.1) передатна функція тахогенератора відносно кута повороту його вала має вигляд:

$$W_\theta(p) = \frac{\theta(p)}{U_{вих}(p)} = \frac{k_n p}{T_{ем} p + 1}, \quad (17.2)$$

а відносно кутової швидкості обертання його вала вид:

$$W_\omega(p) = \frac{\omega(p)}{U_{вих}(p)} = \frac{k_n p}{T_{ем} p + 1}. \quad (17.3)$$

Таким чином, тахогенератор, як інерційна ланка, виконує диференціювання кута повороту вала з деяким спотворенням, що визначається постійною часу $T_{ем}$.

Постійна часу $T_{ем}$ визначається в основному швидкістю протікання електромагнітних процесів у машині, тобто активними і реактивними опорами машини і її навантаження, тому:

$$T_{ем} \approx \frac{(L_{мг} + L_n)}{(R_{мг} + R_n)}.$$

Істотне зменшення $T_{ем}$ може бути досягнуто при використанні в якості ТГ постійного струму машин з порожнистим немагнітним якорем або з дисковим з печатною обмоткою, у яких мала власна індуктивність якоря.

У тому випадку, якщо $T_{ем}$ можна знехтувати, вирази (17.2) і (17.3) приймають вигляд:

$$W_{\theta}(p) = \frac{\theta(p)}{U_{\text{вих}}(p)} = k_n p; \quad W_{\omega}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{\text{вих}}(p)} = k_n. \quad (17.4)$$

Обертові частини тахогенератора створюють додатковий момент інерції для виконавчих двигунів, з валом яких вони пов'язані. Тому для зменшення електромеханічної постійної часу системи виконавчий двигун – тахогенератор і для збільшення швидкодії цієї системи слід застосовувати ТГ з роторами, які мають малі моменти інерції.

17.4. Приклади використання тахогенераторів

На рис. 17.11 показано приклад вимірювання за допомогою тахогенератора швидкості обертання двигуна. Ротор тахогенератора ТГ пов'язаний з валом приводного двигуна Дв. Вихідна напруга тахогенератора подається на вольтметр V, шкала якого проградуєрована в одиницях кутової швидкості. За показаннями цього вольтметра є можливість безперервно контролювати і в разі необхідності (в ручному режимі) регулювати швидкість обертання, змінюючи напругу керування U_{κ} .

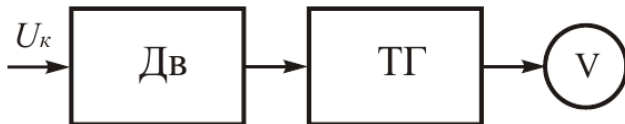


Рис. 17.11 – ТГ як показчик швидкості

На рис. 17.12 показано використання тахогенератора для здійснення зворотного зв'язку в системі, що стежить, на прикладі роботи приводу антени радіолокаційної станції в режимі кругового обертання з постійною швидкістю. Тут ВД – виконавчий двигун, що приводить в обертання антену А; ТГ – тахогенератор, механічно пов'язаний з валом двигуна; П – підсилювач; ПЕ – елемент порівняння, Р – редуктор. Необхідна швидкість обертання задається відповідною величиною базового напруги U_0 .

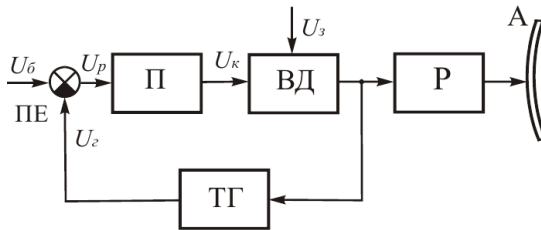


Рис. 17.12 – Схема приводу антени РЛС

Привод працює таким чином. Напруга U_0 через елемент порівняння ПЕ надходить на вхід підсилювача П, а потім в обмотку управління виконавчого двигуна, обмотка збудження якого постійно підключена до джерела напруги U_3 . Ротор двигуна починає обертатися і повертати ротор тахогенератора ТГ і через редуктор Р антену А. Вихідна напруга тахогенератора U_2 порівнюється в елементі порівняння з базовою напругою U_0 і на виході підсилювача встановлюється постійне значення U_k , яке визначається величиною напруги неузгодженості U_p . Ротор двигуна і антена безперервно обертаються з постійною швидкістю.

Знаки (при роботі на постійному струмі) або фазування (при роботі на змінному струмі) напруг U_0 та U_2 проводиться таким чином, що збільшення U_2 призводить до зменшення нап-

руги неузгодженості U_p . Тому будь-яка зміна швидкості обертання ротора двигуна і антени викликає таку зміну напруг U_s та U_p і, відповідно, напруги U_k , що швидкість двигуна буде прагнути до початкового значення. У даному випадку застосування тахогенератора для зворотного зв'язку дозволяє стабілізувати швидкість обертання антени.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттю тахогенератора.
2. Як поділяють тахогенератори за видом використовуваного струму?
3. Галузь застосування тахогенераторів.
4. Наведіть основні вимоги, які пред'являються до ТГ відносно точності.
5. Які ще вимоги висуваються до ТГ, крім вимог точності?

18. ОБЕРТОВІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Обертіві (поворотні) трансформатори (ОТ) – електричні інформаційні мікромашини змінного струму, призначені для перетворення кута повороту в напругу, пропорційну деяким функціям кута (наприклад, синусу або косинусу) або самому куту повороту ротора. Обертіві трансформатори використовуються: в системах дистанційної передачі кута підвищеної точності; як датчики кута; як лічильно – вирішальні елементи аналогових і аналогово-цифрових обчислювальних пристроїв для розв'язання геометричних, тригонометричних і векторних задач, пов'язаних з аналізом трикутників, перетворенням координат, розкладанням і побудовою векторів і т.д. Для цих цілей звичайно використовуються ті самі ОТ при різних способах включення їхніх обмоток. Слід відмітити, що в теперішній час ОТ як лічильно – вирішальні елементи використовуються дуже рідко [35].

Є кілька режимів роботи обертових трансформаторів в залежності від схеми включення їхніх обмоток.

1. Синусно – косинусні ОТ (СКОТ), у яких вихідна напруга однієї обмотки пропорційна синусу кута повороту ротора, а іншої обмотки – косинусу цього кута.

2. Лінійні ОТ (ЛОТ), у яких вихідна напруга пропорційна в досить великому діапазоні куту повороту ротора.

3. Масштабні ОТ (МОТ), у яких вихідна напруга пропорційна вхідній і коефіцієнт пропорційності (масштаб) визначається кутом повороту ротора.

4. Перетворювачі координат, що здійснюють поворот осей декартової системи координат або перехід від декартової до полярної системи координат (ОТ – побудовники вектора).

5. Первинні перетворювачі кута для індукційних фазообертачів, що перетворюють просторовий кут у часовий.

6. Трансформаторна синхронна передача.

Основна вимога, що пред'являється до ОТ, як і до всіх інформаційних пристроїв, – висока точність перетворення вхідної величини (у цьому випадку кута) у вихідну (у даному випадку напругу по заданому функціональному закону).

У загальному випадку на статорі і роторі СКОТ розміщують по дві, звичайно однакові, однофазні розподілені обмотки, що зміщені між собою в просторі на 90° . Магнітопровід виготовляють із листів пермалоя або електротехнічної сталі, ізольованих один від одного. Первинні обмотки, які в більшості ОТ розташовуються на статорі, називаються: одна – обмоткою збудження (ОЗ), інша – квадратурною (поперечною) або компенсаційною обмоткою (ОК), а вторинні – синусною і косинусною. Виводи обмоток статора ОТ, незалежно від їх призначення, маркуються буквами С1...С4, а ротора – Р1...Р4.

Відмінною особливістю деяких ЛОТ в порівнянні з СКОТ є те, що їх ротор має два явно виражених полюса, на яких розташована ОЗ, а на статорі розміщено дві розподілені взаємно

перпендикулярні обмотки, одна з яких вихідна, а друга компенсаційна.

Масштабні ОТ відрізняються від СКОТ наявністю спеціального фіксуючого пристрою, що дозволяє фіксувати ротор в потрібному положенні.

Залежно від розташування обмоток збудження ОТ можуть бути з живленням з боку статора або ротора. За значенням діапазону кутових переміщень ротора розрізняють обертові трансформатори обмеженого і необмеженого обертання, за характером струмопроводу (або струмознімання) до роторних обмоток – контактні і безконтактні.

Особливістю ОТ, що використовуються в бортових системах, зокрема, гіроскопічних, є відсутність в деяких випадках корпусу і струмопідводів. При цьому центрування ротора і статора і підведення живлення здійснюється за допомогою елементів, що входять в пристрій, в якому застосовуються обертові трансформатори.

Істотна особливість використання ОТ, як і інших електричних машин, викликана в першу чергу складністю кінематичних зв'язків. Це практично унеможлиблює їх резервування, у зв'язку з чим до цих елементів пред'являються високі вимоги по надійності.

Крім двополюсних випускаються також багатополюсні ОТ різного конструктивного виконання. Вони застосовуються у двоканальних системах синхронного зв'язку для каналу точного відліку.

В даний час досить широко поширені багатополюсні ОТ типу індуктосін і редуктосін.

Зазвичай для ОТ важливими є такі показники.

Повний вхідний опір холостого ходу – опір змінному струму, який чиниться вхідною обмоткою ОТ при розімкнутих вторинних обмотках. Вхідний опір різних типів знаходяться в межах від 100 до 4000 Ом.

Коефіцієнт трансформації – відношення максимального діючого значення ЕРС вторинної обмотки до діючого значенню

напруги збудження, виміряного на основній гармоніці в режимі холостого ходу.

Похибка відображення синусної (косинусної) залежності – відхилення діючого значення вихідної напруги в залежності від кута повороту ротора від ідеальної синусоїди (косинусоїди). Вона дорівнює напівсумі абсолютних значень максимальних позитивної та негативної похибок і виражається у відсотках:

$$\varepsilon = (\Delta U_{\text{вих}} / U_{\text{вих\max}}) \cdot 100 = \sin \Delta\alpha \cdot 100$$

чи в кутових хвилинах

$$\varepsilon = (\cos \alpha / 34,4) \Delta\alpha',$$

де $U_{\text{вих\max}}$ – максимальне значення вихідної напруги;

$\Delta\alpha$ і $\Delta\alpha'$ – похибка відповідно в радіанах та кутових хвилинах.

Похибка відображення синусної залежності викликається технологічними похибками при виробництві ОТ, а також є наслідком об'єктивних властивостей конструкції. При цьому найбільш істотний вплив робить зубчаста структура статора і ротора, ексцентриситет і магнітна асиметрія пакетів статора і ротора.

Похибка відображення лінійної залежності – відхилення діючого значення вихідної напруги в залежності від кута повороту ротора від ідеальної прямої лінії. Похибка відображення лінійної залежності дорівнює напівсумі абсолютних значень максимальних позитивної та негативної похибок в діапазоні кутів $-60 \dots +60^{\circ}$ і виражається у відсотках:

$$\varepsilon_{\text{л}} = (\Delta U_{\text{вих}} / U_{\text{вих\max}}) \cdot 100 = (\Delta\alpha / \alpha_{\text{max}}) \cdot 100,$$

де α_{\max} – максимальний кут повороту ротора.

Так як для ЛОТ максимальний кут повороту ротора дорівнює $\pm 60^\circ$, то $\varepsilon_n = \Delta\alpha' / 36$.

Асиметрія нульових положень ротора характеризує електричну неперпендикулярність статорних і роторних обмоток. Під асиметрією нульових положень ротора розуміють відхилення ротора (при живленні ОТ з боку кожної з первинних обмоток) від кутів, кратних 90° , коли ЕРС вторинних обмоток дорівнює мінімальному значенню $e_{\text{отн}}$. Асиметрія нульових положень ротора оцінюється напівсумою максимальних значень максимального позитивного та максимального негативного відхилень.

Похибка слідування в ТДП – відхилення положення узгодження ОТ – приймача від кутового положення, що задається ОТ – датчиком. За похибку слідування, що виражається в кутових хвилинах, приймають напівсуму абсолютних значень найбільших відхилень різних знаків положень узгодження приймача.

Розглянемо коротко основні схеми включення обертових трансформаторів.

18.1. Робота обертового трансформатора у режимі синусно – косинусного трансформатора. Симетрування обертових трансформаторів

Розглянемо дві обмотки ОТ – обмотку збудження (ОЗ) на статорі С1-С2 і обмотку на роторі Р1-Р2 (рис. 18.1). При подачі синусоїдальної напруги U_1 на обмотку збудження створюється пульсуючий поздовжній магнітний потік Φ_1 , що індукуює в ОЗ ЕРС E_1 . У режимі холостого ходу ($Z_H = \infty$) у роторній обмотці виникає трансформаторна ЕРС:

$$E_s = kE_1 \sin \vartheta = E_2 \sin \vartheta, \quad (18.1)$$

де $k = E_2 / E_1 = w_{\Sigma 2} / w_{\Sigma 1}$ – коефіцієнт трансформації, що визначається як відношення діючих значень ЕРС в обмотках при $\mathcal{G} = 0$ або ефективних витків обмоток P1-P2 і C1-C2;

\mathcal{G} – кут повороту ротора, значення якого визначається кутом між перпендикуляром до нерухомої осі OZ на статорі і віссю обмотки ротора.

Оскільки обмотка ротора P3-P4 зміщена щодо обмотки P1-P2 на кут 90° , то ЕРС, наведена в ній, має вигляд:

$$E_C = E_2 \cos \mathcal{G}. \quad (18.2)$$

Таким чином, при холостому ході в обмотках ротора індукуються ЕРС, пропорційні синусу і косинусу кута повороту ротора відносно потоку збудження. Відповідно обмотка P1-P2 називається синусною (S), а P3-P4 – косинусною (C).

Обмотка C3-C4 перпендикулярна до обмотки C1-C2, тому потік у ній не індукують ЕРС.

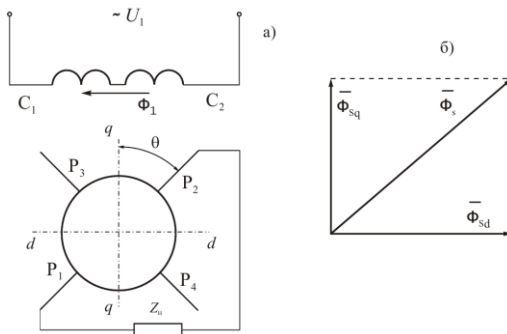


Рис. 18.1 – Схема СКОТ (а) і діаграма потоків (б) при підключенні опору до синусної обмотки

При підключенні до обмотки P1-P2 опору навантаження $Z_H \neq \infty$ залежність ЕРС роторної обмотки від α не буде

синусоїдальною, якщо не прийняти спеціальних заходів. Причина порушення синусоїдальної залежності полягає в тому, що при цьому по обмотці P1-P2 протікає струм і створюється магнітний потік Φ_s , спрямований по осі обмотки P1-P2. Цей потік можна розкласти на дві складові – поздовжню Φ_{sd} (по осі $d-d$), спрямовану уздовж осі основного потоку збудження, але зуст-річно йому, і поперечну Φ_{sq} (по осі $-q-q$), перпендикулярну потоку збудження.

Як видно з рис. 18.1, поздовжня складова потоку Φ_{sd} спрямована проти потоку збудження Φ_1 , і прагне розмагнітити ОТ. Однак цього практично не відбувається, тому що зменшення Φ_1 знижує проти ЕРС первинної обмотки.

Це викликає збільшення струму обмотки збудження, що призводить до зростання потоку, що компенсує поздовжню складову потоку. Таким чином, розмагнічуюча дія поздовжньої складової компенсується збільшенням струму збудження в первинному ланцюзі, що доводить потік збудження до попереднього значення. Таким чином, розмагнічування практично не відбувається, однак зміна струму збудження істотно залежить від навантаження і кута повороту ротора.

Поперечна складова потоку Φ_{sq} перпендикулярна основному потоку і нічим не компенсується. Цей потік наводить в обмотці P1-P2 додаткову ЕРС, порушуючи синусоїдальну залежність (18.1).

Основна вимога, що висувається до СКОТ, полягає в тому, щоб вихідна напруга якомога точніше відповідала закону синуса або косинуса кута повороту ротора.

Для виконання цієї вимоги необхідно усунути вплив поперечної складової магнітного потоку Φ_{sq} . Це може бути досягнуто або роботою ОТ на високоомне навантаження (наближення до режиму холостого ходу – що проблематично), або її компенсацією. Останнє досягається симетруванням

обмоток ротора і статора. Суть симетрування полягає в ослабленні (часткове симетрування) або в усуненні (повне симетрування) поперечного потоку. Розрізняють два види симетрування: первинне і вторинне.

Вторинне симетрування здійснюється за допомогою другої роторної (косинусної) обмотки Р3-Р4. Електрична схема ОТ із вторинним симетруванням показана на рис. 18.2. При цьому до обох роторних обмоток підключаються опори навантаження: ZHS – до синусної і ZHC – до косинусної. У цьому випадку струм протікає по обох обмотках. Магнітний потік Φ_C , створений косинусною обмоткою, перпендикулярний до Φ_S і відносно до осей машини має поздовжню Φ_{Sd} і поперечну Φ_{Sq} складові.

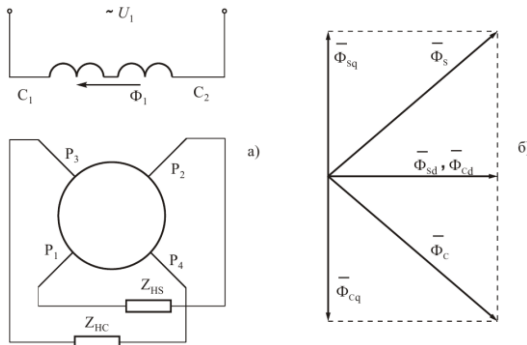


Рис. 18.2 – Схема СКОТ з вторинним симетруванням (а) і діаграма потоків, що створюються обмотками ротора (б)

Повздовжня складова потоку Φ_{Cd} діє так само, як і Φ_{Sd} , тобто призводить до подальшого збільшення струму збудження для компенсації Φ_{Cd} .

Поперечні ж складові Φ_{Sd} й Φ_{Cd} направлені зустрічно (рис. 18.2,б) і при ідентичності обмоток P1-P2 і P3-P4, а також

рівності навантажувальних опорів Z_{HS} і Z_{HC} , взаємокомпенсуються. Тому спотворень вихідних ЕРС, викликаних його впливом, не буде при будь-яких поворотах ротора. Крім того, симетрія вторинних ланцюгів СКОТ характеризується ще однією важливою властивістю – сталістю струму збудження і потужності збудження незалежно від кута повороту ротора (тобто сталістю вхідного опору з первинної сторони).

Очевидно, що якщо виконано неповне вторинне симетрування, то спотворення у вихідних напругах зберігаються, однак при цьому вони будуть значно менші, ніж у випадку, якщо одна з обмоток навантажена, а друга працює в режимі холостого ходу.

Розглянутий метод симетрування має практичне застосування тільки при постійному опорі навантаження.

При первинному симетруванні для зменшення поперечного потоку компенсаційну (квадратурну) обмотку ОК підключають до опору (рис. 18.3). Тому що вісь ОК збігається з напрямком поперечного магнітного потоку ротора, останній наводить у ній ЕРС і в ОК протікає струм, тобто за відношенням до поперечної складової потоку ОК є вторинною обмоткою трансформатора.

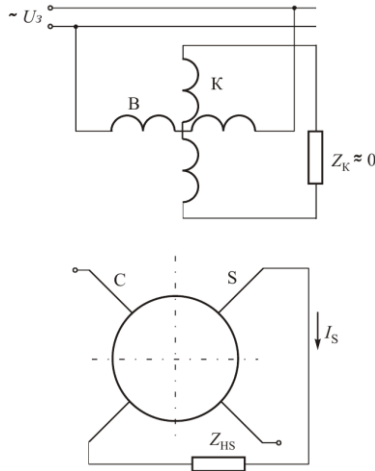


Рис. 18.3 – Первинне симетрування СКОТ

При малому значенні Z_K взаємна розмагнічуюча дія обмоток S і OK настільки велика, що результуючий магнітний потік Φ_q прагне до нуля при будь-якому значенні Z_{HS} . Умовою первинного симетрування, якщо обмотки S і OK ідентичні, є рівність симетруючого опору зовнішньому опору ланцюга ОЗ, тобто вихідному опору джерела живлення. Для досить потужного джерела цю умову можна записати у вигляді:

$$Z_K \approx 0. \quad (18.3)$$

Умова симетрування від опору навантаження не залежить.

Для досягнення найменшого спотворення вихідних функціональних залежностей ОТ первинне і вторинне симетрування практично завжди застосовують спільно.

Розглянуті методи компенсації поперечного потоку дозволяють у якості вихідної використати як синусну, так і косинусну обмотки, тобто одержувати вихідну напругу, пропорційну

синусу або косинусу кута повороту ротора. Тому такі ОТ називаються синусно-косинусними (СКОТ).

Залежно від величини погрішності СКОТ діляться на шість класів точності (таблиця 18.1).

Таблиця 18.1

Класи точності СКОТ

Параметр точності	Клас точності					
	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
Погрішність відображення синусної залежності, %	±0,005	±0,01	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2
Асиметрія нульових точок, кут.сек	±10	±20	±40	±100	±200	400
ЕРС квадратурної обмотки, %, не більше	0,04	0,08	0,12	0,3	0,6	1,2
Залишкова ЕРС, %, не більше	0,003	0,006	0,01	0,025	0,05	0,1
Різниця коефіцієнтів трансформації, %, не більше	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2

18.2. Лінійний обертовий трансформатор

Розглянуті схеми СКОТ можуть бути використані для одержання лінійної залежності вихідної напруги від кута повороту ротора для малих змін останнього. Наприклад, при невеликій зміні кута ϑ можна вважати, що $\sin \vartheta \approx \vartheta$ і отримувати необхідну лінійну залежність від синусної обмотки.

Однак у цьому випадку точність лінійної апроксимації 0,1% може бути отримана тільки при зміні кута в межах $\pm 4,5^\circ$.

При розширенні діапазону зміни кута до $\pm 14^\circ$ точність відтворення лінійної залежності СКОТ знижується до 1%. Тому для лінійного обертового трансформатора (ЛОТ) використовувати одну синусну обмотку нераціонально.

У набагато більших межах зміни кута ϑ лінійною є функція виду:

$$f(\vartheta) = \sin \vartheta / (1 + k \cos \vartheta), \quad (18.4)$$

при значеннях k , близьких до 0,5.

Для оцінки відхилення цієї функції від лінійної залежності необхідно представити її чисельник і знаменник у вигляді ступеневих рядів, і поділити многочлен на многочлен. Тоді, нехтуючи членами другого порядку малості, можна отримати при $\vartheta < 60^\circ$:

$$\sin \vartheta / (1 + k \cos \vartheta) \approx 2/3(1 - \vartheta^4 / 180). \quad (18.5)$$

Відхилення функції (18.4) від лінійної залежності визначається в основному членом $\vartheta^4 / 180$ в рівнянні (18.5). При $\vartheta = \pm 60^\circ$ це відхилення досягає 1% максимального значення функції.

Більш високу точність наближення функції (18.4) до лінійної залежності будемо мати в межах $\vartheta = \pm 37^\circ$. При цьому відхилення від лінійності не перевищує 0,1%.

Вибір коефіцієнта k визначається діапазоном зміни кута ϑ . Функція (18.4) при $k = 0,5$ дає досить точну лінійну залежність в межах зміни $\vartheta = \pm 30^\circ$.

При подальшому збільшенні ϑ відхилення в лінійності швидко зростає. Незначне збільшення коефіцієнта k призводить до деякого збільшення похибки для малих ϑ , але при цьому значно розширюється діапазон зміни кута ϑ .

Так, для $k = 0,52$ кут ϑ зростає до $\pm 55^\circ$ при похибці 0,1 %. Коефіцієнт $k = 0,53$ є ще більш сприятливим у сенсі збільшення діапазону зміни кута ϑ .

У цьому випадку при $\vartheta = \pm 45^\circ$ похибка досягає 0,15%, при $\vartheta = \pm 60^\circ$ вона стає рівною нулю, а при подальшому збільшенні ϑ похибка в лінійності швидко зростає (рис. 18.4).

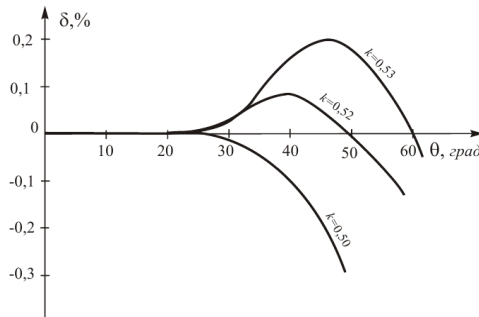


Рис. 18.4 – Залежність похибки від коефіцієнта k

Реальний коефіцієнт трансформації k повинен дещо відрізнятись від значення його в рівнянні (18.4), так як в ньому не враховано опір обмоток. Практично вибирають $k = 0,565$.

Тоді залежність вихідної напруги від кута повороту ротора лінійна в зазначених раніше межах.

Властивість функції (18.4) покладено в основу створення ЛОТ. Для отримання вихідної напруги лінійного трансформатора, що змінюється при повороті ротора за законом (18.4), з'єднання його первинних і вторинних обмоток повинно бути виконано так, як показано на рис. 18.5 (первинне симетрування) або на рис. 18.6 (вторинне симетрування).

У схемі ЛОТ з первинним симетруванням зміна опору навантаження не вносить спотворення в лінійну залежність вихідної напруги, що є перевагою цієї схеми. Вихідний опір ОТ з первинним симетруванням залежить від кута повороту ротора.

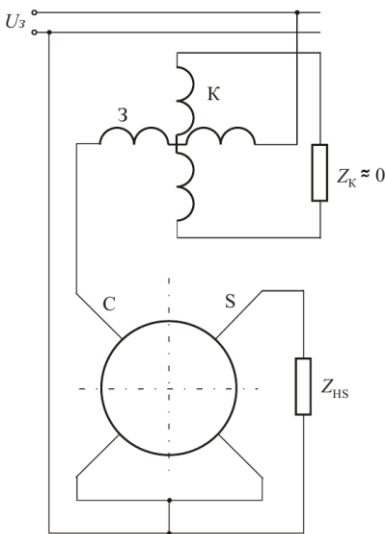


Рис. 18.5 – Первинне симетрування ЛОТ

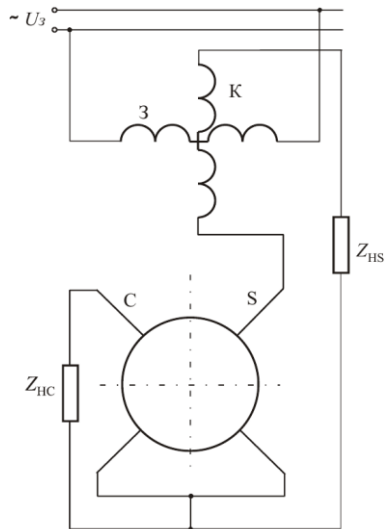


Рис. 18.6 – Вторинне симетрування ЛОТ

У ЛОТ із вторинним симетруванням при зміні навантаження умови симетрування порушуються, що призводить до істотних похибок відтворення лінійної залежності. Крім того, навантаження повинне мати чисто індуктивний характер. Зазначені недоліки ЛОТ із вторинним симетруванням не дозволяють широко використовувати цю схему.

На противагу СКОТ лінійний обертовий трансформатор зі змішаним симетруванням створити неможливо. Тому з двох відомих схем ЛОТ застосовують, як правило, схему з первинним симетруванням. Її недоліком є залежність вихідного опору ЛОТ від кута повороту ротора, а перевагою – незалежність вихідного опору від цього кута.

Графік вихідної напруги ЛОТ при повороті його ротора на $\pm 180^\circ$ зображений на рис. 18.7, де $U_{вих}$ змінюється лінійно в

межах 9 ± 60^0 . При переході через нуль фаза вихідного сигналу змінюється на 180^0 .

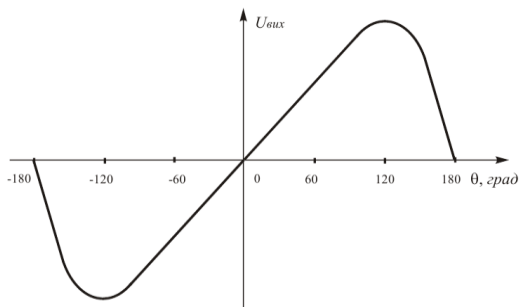


Рис. 18.7 – Залежність вихідної напруги ЛОТ від кута повороту ротора

При повороті ротора на один оберт його вихідна напруга має дві нульові точки – «істинну» і «помилкову». Лінійну зону роботи можна визначити за такою ознакою: від положення «істинного» нуля вихідна напруга безперервно зростає при повороті ротора на кут, що приблизно дорівнює 17^0 , а від «помилкового» нуля – тільки на 60^0 .

При каскадному (послідовному) з'єднанні декількох ОТ, коли напруга з одного трансформатора подається на вхід іншого, через те, що вихідний опір ЛОТ залежить від кута повороту ротора, необхідно ЛОТ включати тільки на початку каскаду, тому що в протилежному випадку непостійність навантажувального опору (вихідного опору ЛОТ) попереднього ОТ може призводити до зниження його точності.

Включення ж ОТ на початку каскаду викликає лише непостійність навантаження джерела живлення, що несуттєво.

З цієї ж причини небажано послідовне включення двох ЛОТ.

Похибку відображення лінійної залежності оцінюють відхиленням діючого значення вихідної напруги (залежно від кута повороту ротора) від ідеальної прямої лінії. Ця похибка

дорівнює напівсумі абсолютних значень максимальних позитивної та негативної похибок в діапазоні кутів $-60...+60^\circ, \%$.

Залежно від величини погрішності ЛОТ діляться на три класи точності (табл. 18.2).

Таблиця 18.2

Класи точності ЛОТ

Параметр точності	Клас точності		
	0,05	0,1	0,2
Похибка відображення лінійної залежності, %	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
Остаточна ЕРС, %, не більше	0,025	0,05	0,1

18.3. Масштабні ОТ

Масштабні ОТ застосовуються для узгодження напруг різних малопотужних каскадів. У цьому випадку ОТ використовуються як регулятори напруги. Принцип дії розглянутих машин нічим не відрізняється від принципу дії СКОТ, розглянутого раніше. Повертаючи ротор трансформатора, змінюють напругу його вихідної обмотки. Після того, як потрібне значення вихідної напруги досягнуто, ротор фіксується спеціальним стопорним пристроєм, яким забезпечуються трансформатори. Наявністю цього пристрою і понижуючого редуктора, що дозволяє плавно повертати ротор, масштабні обертові трансформатори відрізняються від ОТ інших типів.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттю обертових трансформаторів
2. Галузь застосування обертових трансформаторів
3. Наведіть режими роботи обертових трансформаторів в залежності від схеми включення їх обмоток.

4. Основні вимоги, що пред'являється до ОТ?
5. На скільки класів точності діляться ОТ в залежності від величини погрішності?

19. СЕЛЬСИНИ

Сельсини (від англ. self synchronizing «що самосинхронізуються») – індукційні електричні машини, що використовуються в синхронних передачах, що самосинхронізуються [35].

Історично склалося так, що першими елементами в системах передачі кута були використані сельсини і така передача була названа індикаторною.

Після винаходу обертових синусно-косинусних трансформаторів була запропонована система передачі кута, названа трансформаторною, принцип роботи якої розглянуто в попередньому розділі. Потім з'явилася побудована за цим же принципом система з використанням сельсинів, названа трансформаторною системою дистанційної передачі кута на сельсинах. Оскільки ОТ з меншими інструментальними похибками виконати простіше і функціональні можливості їх більше, ніж сельсинів, системи передачі кута з використанням ОТ в даний час використовуються частіше.

Залежно від функцій, що виконуються сельсином в системах синхронного зв'язку, розрізняють: сельсини-датчики, індикаторні сельсини-приймачі, трансформаторні сельсини-приймачі, диференціальні сельсини-датчики і приймачі.

У системах електричного валу застосовують трифазні сельсини, а в системах передачі кута – однофазні сельсини.

Існують різні конструктивні виконання сельсинів, але при цьому обов'язковою є наявність обмоток збудження і синхронізації. Обмотка збудження в однофазних сельсинах однофазна, а в трифазних – трифазна.

Електрична схема однофазного сельсина представлена на рис. 19.1.

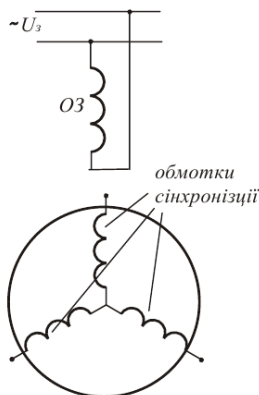


Рис. 19.1 – Електрична схема сельсина

Обмотка збудження є однофазною і підключається до джерела змінного струму.

Обмотки синхронізації складаються із трьох однофазних обмоток, осі яких зміщені в просторі на кут 120° і з'єднані в зірку. У більшості випадків обмотка збудження розташовується на роторі, а синхронізації – на статорі.

Виводи роторних обмоток сельсина маркуються буквою Р, а статорних – буквою С незалежно від призначення обмоток.

Однофазний сельсин являє собою поворотний трансформатор, в якому обмотка збудження створює пульсуючий магнітний потік.

Цей потік, проходячи по магнітопроводу сельсина, перетинає обмотки синхронізації і наводить в них ЕРС, що залежать від кута повороту ротора. Так як при повороті ротора взаємодуктивність між обмоткою збудження і обмоткою синхронізації плавно змінюється за законом косинуса, то в променях обмотки синхронізації будуть наводитися ЕРС, пропорційні косинусу кута повороту ротора.

Для самосинхронізації в межах одного оберту сельсини виконуються з однією парою полюсів.

Конструктивно сельсини діляться на контактні і безконтактні.

Однофазні сельсини використовують в індикаторному і трансформаторному режимах. При цьому система незалежно від режиму роботи складається із сельсина-датчика (СД) і одного або декількох сельсинів-приймачів (СП). СД механічно пов'язаний з об'єктом контролю або органом керування.

СП або безпосередньо відпрацьовує кут повороту, що задається датчиком (індикаторний режим), або перетворює його в електричний сигнал, що відпрацьовується виконавчим двигуном (трансформаторний режим).

19.1. Індикаторний режим роботи сельсинів

Індикаторний режим може бути використаний, якщо на валу сельсина-приймача знаходиться вимірювальний прилад з досить малим моментом спротиву (наприклад, шкала, збалансована стрілка) і вимоги до точності передачі не дуже високі.

Електрична схема роботи сельсинів в індикаторному режимі представлена на рис. 19.2.

Обмотки збудження (ОЗ) сельсинів датчика і приймача живляться від одного джерела змінного струму. Струми, що протікають в ОЗ, створюють у цих обмотках потоки збудження, які індуктують в обмотках синхронізації ЕРС.

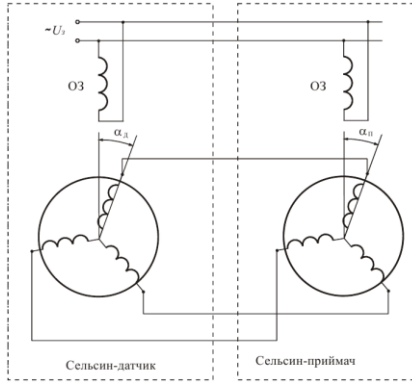


Рис. 19.2 – Індикаторний режим

Значення цих ЕРС у кожному сельсині залежать від взаємного положення осей обмотки збудження і обмоток синхронізації. Для сельсина – датчика ЕРС в променях обмотки синхронізації:

$$E_{\delta 1} = E_{\max} \cos \alpha_{\delta};$$

$$E_{\delta 2} = E_{\max} \cos \alpha(\alpha_{\delta} - 120^{\circ});$$

$$E_{\delta 3} = E_{\max} \cos \alpha(\alpha_{\delta} - 240^{\circ}),$$

де α_{δ} – кут повороту ротора сельсина – датчика від узгодженого положення (за узгоджене положення приймається таке, коли промінь обмотки синхронізації сельсина – датчика, в якому наводиться ЕРС $E_{\delta 1}$, співвісний з обмоткою збудження);

E_{\max} – найбільше діюче значення ЕРС в промені обмотки синхронізації, що відповідає збігу осі променя обмотки синхронізації і обмотки збудження;

$E_{\delta 1}, E_{\delta 2}, E_{\delta 3}$ – ЕРС відповідних променів синхронізації сельсина-датчика.

Для сельсина-приймача ЕРС в променях обмотки синхронізації:

$$\begin{aligned}E_{n1} &= E_{\max} \cos \alpha_n; \\E_{n2} &= E_{\max} \cos \alpha(\alpha_n - 120^0); \\E_{n3} &= E_{\max} \cos \alpha(\alpha_n - 240^0),\end{aligned}$$

де α_n – кут повороту ротора сельсина – приймача від узгодженого положення (узгоджене положення те ж, що і для сельсина-датчика);

E_{n1}, E_{n2}, E_{n3} – ЕРС відповідних променів синхронізації сельсина-приймача.

Відзначимо, що в цих рівняннях замість векторних величин записані скаляри, так як всі ЕРС в них мають однакову часову фазу (однофазна система).

Якщо в якості датчика і приймача обрані ідентичні сельсини, то при однаковому положенні роторів СД і СП щодо обмоток статорів, ЕРС в обмотках синхронізації будуть рівні за величиною і протилежні за фазою. Струм у лінії зв'язку відсутній. Таке положення датчика і приймача називають погодженим. Кут неузгодженості $\alpha = \alpha_o - \alpha_n = 0$.

Якщо $\alpha_o \neq \alpha_n$, то ЕРС в обмотках синхронізації СД і СП будуть відрізнятися. Внаслідок цього у лініях зв'язку і обмотках синхронізації потечуть зрівнювальні струми, які без урахування опорів ліній зв'язку після нескладних тригонометричних перетворень можна представити у вигляді:

$$I_1 = \frac{E_1}{2z} = I_{\max} \sin\left(\alpha_\delta - \frac{\alpha}{2}\right) \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$I_2 = \frac{E_2}{2z} = I_{\max} \sin\left(\alpha_\delta - 120^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$I_3 = \frac{E_3}{2z} = I_{\max} \sin\left(\alpha_\delta + 120^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \sin \frac{\alpha}{2},$$

де I_{\max} – найбільше діюче значення струму;
 $E_i = E_{oi} - E_{ni}$; $i = 1, 2, 3$; z – модуль повного опору променя одного сельсина.

Ці струми, взаємодіючи з потоками збудження, створюють електромагнітні моменти, що прагнуть повернути ротори сельсинів у погоджене положення, тобто до $\alpha = \alpha_\delta - \alpha_n = 0$. Ротор датчика звичайно пов'язаний з механізмом, що задає, і позбавлений свободи обертання. Тому повертатися буде тільки ротор приймача, поки не настане знову погоджене положення роторів.

Момент, що повертає ротор приймача, називається синхронізуючим. Його значення наближено визначається залежністю:

$$M_c \approx k \sin \alpha, \quad (19.1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей сельсина і параметрів живлення.

Реальна залежність $M_c \approx f(\alpha)$ відрізняється від синусоїди за рахунок гальмівного моменту, обумовленого поперечною складовою потоку. Для її зменшення індикаторні сельсини часто виконують із короткозамкненою обмоткою по поперечній осі, або явнополюсними, у яких великий повітряний зазор по поперечній осі.

Найважливішою характеристикою сельсина є питомий синхронізуючий момент. Під ним розуміють величину синхронізуючого моменту, що припадає на один градус кута неузгодженості в початковій точці характеристики:

$$m_{num} = \left(\frac{dM_c}{d\alpha}\right)\alpha = 0.$$

Точність роботи сельсинів в індикаторному режимі залежить від таких факторів:

- питомого синхронізуючого моменту;
- власного моменту тертя СП і моменту опору на його валу;
- опору лінії зв'язку;
- магнітної й електричної асиметрії машини;
- кількості приймачів, що працюють від одного датчика;
- дебалансу ротора приймача;
- напруги і частоти живлення.

Практично між роторами СД і СП завжди існує неузгодженість – кут статичної помилки, що обумовлена перерахованими вище факторами. Найбільший кут статичної похибки визначає величину зони нечутливості системи:

$$\beta = \pm M_T / m_{num}, \quad (19.2)$$

де M_T – сума шкідливих моментів;

m_{num} – питомий синхронізуючий момент, тобто синхронізуючий момент при $\alpha = 0$.

В залежності від величини погрішності в індикаторній системі передачі кута сельсини діляться на чотири класи точності (табл. 19.1).

Таблиця 19.1

Класи точності сельсинів

Параметр точності	Клас точності			
	1	2	3	4
Погрішність проходження в дистанційній передачі кута в індикаторному режимі, кут. хв	±30	±45	±60	±90

Значення синхронізуючого моменту i , відповідно, точність індикаторної передачі, зменшується при збільшенні опорів ліній зв'язку, так як це призводить до зменшення зрівнювальних струмів при однакових кутах неузгодженості.

У схемах автоматики часто застосовують схеми, де від одного датчика працює кілька приймачів. У таких випадках як датчик використовують потужніший сельсин, ніж приймачі.

19.2. Трансформаторний режим роботи сельсинів

Трансформаторний режим застосовується для дистанційної передачі кутових переміщень об'єкту, момент опору якого вище моменту, що розвиває сельсин в індикаторному режимі при досить високій точності відпрацьовування переміщення.

Електрична схема роботи сельсинів у трансформаторному режимі представлена на рис. 19.3 і повністю аналогічна відповідній схемі на обертових трансформаторах.

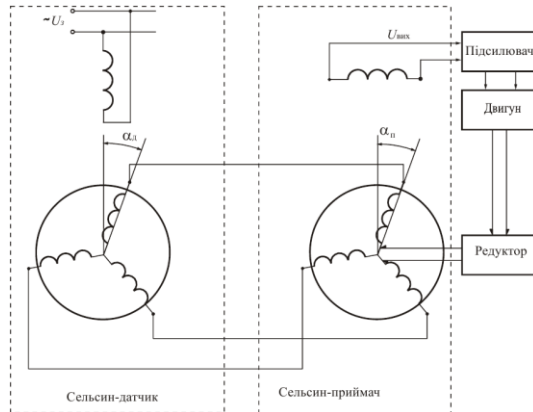


Рис. 19.3 – Трансформаторний режим

Схема складається із сельсина-датчика, сельсина-приймача, лінії зв'язку, підсилювача, виконавчого двигуна і редуктора.

При подачі напруги на обмотку збудження СД і деякому куті неузгодженості α між положеннями роторів датчика і приймача на обмотці збудження СП виникає напруга $U_{вих}$. Вона підсилюється підсилювачем і надходить на обмотку керування виконавчого двигуна, що через редуктор обертає ротор СП. Обертання здійснюється доти, поки напруга $U_{вих}$ не буде дорівнювати нулю, тобто коли наступить погоджене положення роторів СД і СП.

Точність роботи сельсинів у трансформаторному режимі залежить від таких факторів:

- значення залишкової ЕРС;
- розподілу індукції в повітряному зазорі;
- крутизни вихідної напруги СП.

Залежно від величини погрішності в трансформаторній системі передачі кута сельсини діляться на сім класів точності (див. табл. 19.2).

Таблиця 19.2

Класи точності сельсинів

Параметр точності	Клас точності						
	1	2	3	4	5	6	7
Погрішність проходження дистанційної передачі кута трансформаторному режимі, кут. хв.	±1	±2	±3	±5	±10	±20	±30

Точність роботи сельсинів у трансформаторному режимі вище, ніж в індикаторному. Це обумовлено тим, що в трансформаторному режимі момент опору навантаження долається досить великим моментом виконавчого двигуна.

Одним із шляхів подальшого підвищення точності передачі кута є створення двоканальних систем, що працюють за методом грубого і точного відліків точно так, як з використанням обертових трансформаторів.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттю сельсина
2. Як розрізняють сельсини залежно від функцій, що виконуються в системах синхронного зв'язку?
3. Які сельсини використовуються у системах електричного валу?
4. Які сельсини використовуються у системах передачі кута?
5. Які види сельсинів існують за конструктивним виконанням?
6. Від яких факторів залежить точність роботи сельсинів в індикаторному режимі?

20. ЕЛЕКТРОПРИВОД

20.1. Визначення електроприводу

Електропривод це електромеханічна система, до якої входять електрорушійний, перетворюючий, передавальний та керуючий пристрої, яка призначена для приведення до руху механізмів, ланок або органів робочої машини та керування цим рухом. Узагальнена структурна схема електроприводу наведена на рис. 20.1.

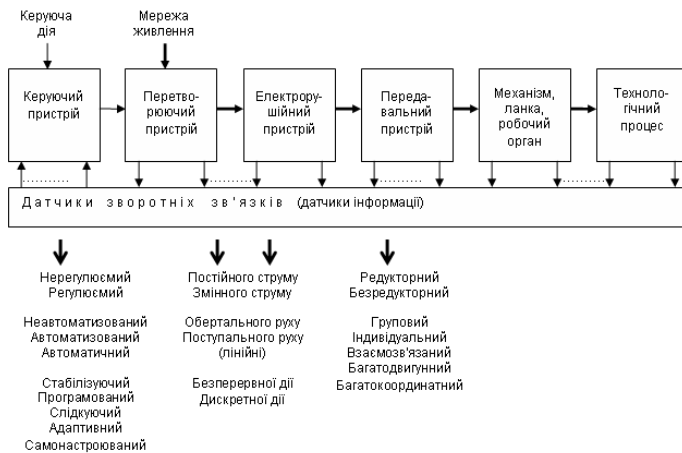


Рис. 20.1 – Узагальнена структурна схема та головні класифікаційні ознаки електроприводу

За принципом дії електрорушійного пристрою (електричного двигуна) електроприводи можуть бути постійного або змінного струму, обертального або поступального руху [42].

Останні знайшли назву лінійних електроприводів. Електроприводи можуть бути також безперервної або дискретної дії. В електроприводі безперервної дії всі частини електрорушійного пристрою в сталому режимі знаходяться в стані безперервного

руху. В електроприводі дискретної дії вихідний вал (вісь) рухається нерівномірно, тобто дискретно або кроками.

У залежності від призначення та складності в деяких електроприводах не всі елементи структурної схеми мають місце. В простішому випадку електропривод може складатися тільки з електрорушійного пристрою. Але часто між електрорушійним пристроєм та механізмом встановлюється передавальний пристрій (редуктор, мультиплікатор, шків, барабан або будь-яка інша механічна передача).

Передавальний пристрій узгоджує параметри руху осі двигуна з потрібними параметрами руху осі механізму. Якщо електропривод не має передавального пристрою (частіше це електроприводи вентиляторів, насосів, центрифуг, деяких верстатів), цей привод має назву безредукторного. Механічна передача є джерелом проявів гнучкості механічних зв'язків, зазорів та інших негативних явищ, які ускладнюють керування та призводять до похибок при точному керуванні механізмом.

Призначенням передавального пристрою є також розподіл механічної енергії між механізмами, окремими ланками або органами механізму. У механічній передачі завжди втрачається якась частина потужності на шляху від двигуна до механізму. Принцип передачі та розподілу механічної енергії впливає на вимоги до електроприводу. За цією ознакою електропривод може бути трансмісійним, груповим, індивідуальним, взаємозв'язаним, багатодвигунним, багатокоординатним.

У трансмісійному електроприводі від одної осі (трансмісії) отримують рух декілька механізмів. Цей тип електроприводу найстаріший за віком і зараз зустрічається дуже рідко.

У груповому електроприводі енергія між всіма ланками або органами механізму розподіляється від одного електрорушійного пристрою суто механічними засобами (прості верстати, тощо, в яких один двигун забезпечує рух групи механізмів). В індивідуальному електроприводі кожен механізм

або орган робочої машини обладнаний окремим електродвигуном (підйомний кран, екскаватор, складні верстати). Завдяки застосуванню індивідуального електроприводу спрощується конструкція та підвищується надійність роботи механізму або машини в цілому, підвищується її коефіцієнт корисної дії.

У деяких механізмах раціонально використовувати багатодвигунний електропривод, тобто встановлювати замість одного декілька двигунів із тією же загальною потужністю. Така потреба виникає, якщо потрібно підвищити швидкість (сумарна інерційність кількох дрібних двигунів менша за інерційність одного великого), або вирівняти навантаження на складні, розгалужені або великі за розмірами частини механізму (поворотний круг великого діаметру в екскаваторі, багатоосний транспортний засіб, багатометровий ланцюг конвеєра або транспортеру).

Багатодвигунний електропривод може бути взаємозв'язаним, якщо між окремими ланками є механічний зв'язок, координатами якого треба керувати (натягування матеріалу при перемотці, механізми прокатки металів, тощо). В верстатах та промислових роботах з програмним керуванням використо-вуються багатокоординатні електроприводи. В них переміщення робочого органу – столу, інструменту або схвату робота дося-гається точно скоординованими рухами кількох двигунів, що встановлені на різних координатах верстата або у різних ланках робота.

Електропривод за властивістю змінювати свої координати, залежно від керуючої дії, (швидкість, пересування, момент або струм) може бути нерегулюємим або регулюємим. З показником регулюємості пов'язаний показник ступеня автоматизації процесів керування електроприводом. За цією ознакою електропривод може бути неавтоматизованим, автоматизованим, автоматичним. Для керування неавтоматизованим електроприводом обов'язкова участь людини-оператора. Оператор безпосередньо виконує керуючі дії

та слідкує за їх виконанням (оператор простих підйомних кранів, нескладного верстату тощо). В автоматизованому електроприводі оператор тільки подає команду на початок або припинення роботи. При цьому складні операції пуску, підтримання швидкості, гальмування і точної зупинки, тощо, виконуються автоматично, без участі оператора (приклад швидкісного пасажирського ліфту, де застосовується автоматичне керування прискоренням та гальмуванням із врахуванням комфортних для людини показників, точна зупинка на заданому поверсі, а пасажир лише вибирає поверх та подає команду на початок руху). В разі, коли всі операції по керуванню, включаючи подачу команд на початок та закінчення роботи, виконуються без участі оператора, електропривод має назву автоматичного (верстату з числовим програмним керуванням, промислові роботи).

Перетворюючий пристрій (перетворювач) призначений для узгодження параметрів мережі живлення з параметрами входу електрорушійного пристрою та керування потоком електричної енергії з ціллю регулювання режимів електродвигуна та механізму. В регулюємих електроприводах використовуються перетворювачі різноманітних типів. Історично першими перетворювачами були електромеханічні та електромагнітні, на зміну ним прийшли електронні вакуумні та напівпровідникові перетворювачі. Важливість цього елементу електроприводу підкреслюється тим, що принцип дії або назва перетворювача входять до назви відомих систем електроприводу (Г-Д: генератор-двигун, ТП-Д: тиристорний перетворювач-двигун, ШП-Д: широтно-імпульсний перетворювач-двигун, ТПН-АД: тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун, ПЧ-АД: перетворювач частоти – асинхронний двигун). Сучасні силові перетворювачі створюються виключно на базі напівпровідникових вентилів-тиристорів та транзисторів. Електроприводи будь-якого типу з вентиляними перетворювачами знайшли загальну назву вентиляного електроприводу. Зараз набувають розповсюдження нові типи

електроприводів із вентиляними двигунами. В них дія електричної машини та напівпровідникової керуючої частини настільки поєднані, що вони можуть робити тільки спільно, як єдине ціле. Простішим прикладом вентиляного двигуна є електрична машина постійного струму, в якій механічний колектор замінений на безконтактний електронний комутатор. Зараз ця галузь інтенсивно розвивається і кількість видів таких двигунів розширюється.

Елементи, що описані, належать до силового або енергетичного каналу електроприводу. В цих елементах відбувається перетворення енергії на шляху від мережі до механізму. Крім цього, в сучасному електроприводі, особливо в регульованому, є досить розвинута інформаційна частина. До неї належать керуючі пристрої (схема керування, схема автоматичного керування) та датчики інформації або датчики зворотних зв'язків, які на рис. 20.1 відображені узагальнено у формі єдиного прямокутника. Датчики зворотних зв'язків подають до керуючого пристрою інформацію про біжучий стан координат окремих елементів електроприводу, механізму або технологічного процесу. В сучасному автоматизованому виробництві частину дії керуючого пристрою може брати на себе комп'ютерна система більш високого ієрархічного рівня.

Використання перетворювачів та різних схем автоматичного керування значно підвищує ступінь автоматизації електропривода та процесів, якими він керує. За цією ознакою його умовно можна поділити на програмний, слідкувальний, адаптивний, самонастроювальний. Дії програмного електропривода змінюються згідно з наперед заданим законом (програми), наприклад, для роботів та верстатів з програмним управлінням. Слідкувальний електропривод виконує керуючі дії, що наперед невизначені, і які є в великій мірі випадковими (електроприводи копіювальних верстатів, антен, які стежать за ціллю, керма судна, тощо).

В адаптивному електроприводі закладена можливість автоматично перебудовувати свою структуру або програму дії

для досягнення максимальної якості при роботі в будь-якому режимі або при зміні умов експлуатації. Умовність цієї ознаки витікає з того, що електропривод програмований, слідкувальний, адаптивний та інший може бути принципово виконаний на базі будь-якої з відомих систем електроприводів і не є наслідком якихось особливих їх властивостей.

Останнім досягненням сучасного електроприводу є електроприводи, що самонастроюються. Наприклад, всі сучасні електроприводи із частотним векторним керуванням створюються з автоматичним вимірюванням необхідних параметрів двигуна та механізму і з автоматичною настройкою. Створення та функціонування таких електроприводів неможливе без широкого залучення обчислювальної техніки – мікро-ЕОМ та мікропроцесорів.

На рис. 20.1 наведені також елементи, які не входять безпосередньо до складу електроприводу: мережа живлення, сам приводний механізм або його ланка, орган а також технологічний процес. Присутність цих елементів на схемі підкреслює, що сучасний електропривод неможливо розглядати і якісно ним керувати без урахування особливостей його взаємодії з мережею (якість та форма напруги мережі, форма струму електроприводу та його вплив на мережу) та механізмом і технологічним процесом (гнучкий або жорсткий кінематичний ланцюг, різноманітні обмеження режимів, або навпаки, потреба в формуванні екстремальних режимів).

20.2. Привод мехатронних систем

Мехатронні системи – це технічні системи, що забезпечують виробничі процеси, засновані на комплексному використанні електричних, механічних та інформаційних технологій (рис. 20.2).

Ґрунтуючись на викладеному вище, визначимо теоретичну основу мехатронних систем як сукупність методів

формалізації і математичного опису, прийнятих у механіці, електротехніці й інформатиці [40]. Основним засобом опису таких систем є використання диференціального й інтегрального числення, цифрових методів. У мехатроніці математичний апарат від прикладної механіки до цифрових методів становить об'єднання різних математичних методів і засобів. Аналіз мехатронних систем припускає послідовність їх узагальненого, графічного, аналітичного й алгоритмічного опису. Аналіз і синтез мехатронних систем пов'язаний з узагальненням і розробкою єдиного математичного апарату алгоритмізації процесів взаємодії їхніх елементів.



Рис. 20.2 – Зв'язок мехатроніки з іншими предметами [40]

Сучасні мехатронні системи повинні мати приводи, до яких пред'являються високі й досить суперечливі вимоги. Структура приводів повинна забезпечувати можливість автономного й координованого (погодженого) регулювання переміщень, швидкостей, сил (моментів) за умови забезпечення високої точності позиціонування при відсутності перерегулювання, високого коефіцієнта форсування по моменту, максимальної швидкодії, плавності переміщення робочого органу мехатронної

системи при змінних навантаженнях і моментах інерції, надійної фіксації в точках позиціонування, відсутності перехідних режимів при перемиканні структури привода, а також мінімальність маси й габаритів електромеханічних модулів при високій надійності всіх елементів.

Електроприводом називають електромеханічну систему, що складається з електродвигунного, перетворювального, механічного передавального і керуючого пристроїв, і призначена для приведення в рух виконавчого органу робочої машини та керування цим рухом (рис. 20.3).

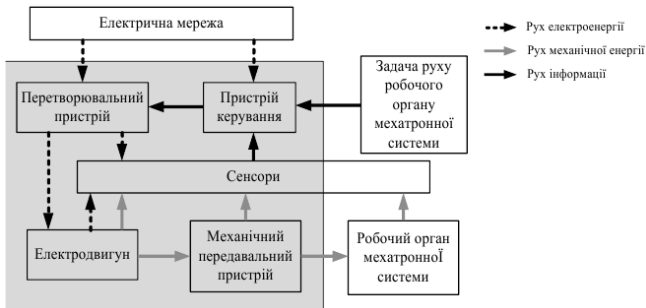


Рис. 20.3 – Структура електроприводу у складі мехатронних систем [40]

До переваг електроприводу можна віднести те, що для нього джерелом енергії слугує мережа постійного або змінного струму. Відсутня необхідність у використанні трубопроводів, а також проблема забруднення навколишнього середовища.

Особливі умови експлуатації мехатронних систем накладають істотні обмеження на вибір типу двигуна привода. Застосування крокового електропривода малоефективне при потужностях, що перевищують сотні Ват. Електроприводи на базі лінійних двигунів, поряд з очевидними перевагами забезпечення лінійного переміщення виконавчих пристроїв без механічних передач, не забезпечують необхідної точності й швидкодії.

Основним елементом виконавчих органів, робота котрих заснована на використанні рідини, що знаходиться під тиском, чи стиснутого повітря, є силовий гідро (пнеumo) циліндр. У циліндрі під дією напору повітря (рідини), яке надходить від джерела, у котрому воно утримується під тиском, відбувається переміщення поршня (рис. 20.4) [38].

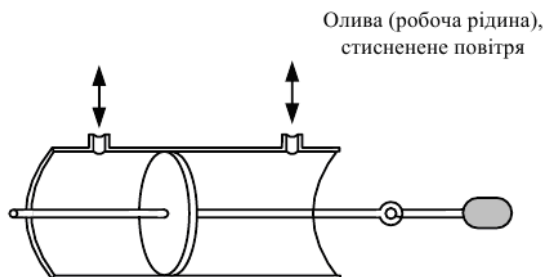


Рис. 20.4 – Силовий гідро (пнеumo) циліндр [40]

Не дивлячись на свої розміри, гідравлічні й пневматичні приводи дозволяють розвинути значні зусилля. Однак вони вимагають створення спеціальних джерел, з котрих повинна надходити рідина високого тиску чи стиснутий газ. При використанні гідроприводу можуть виникнути проблеми, пов'язані з захистом оточуючого середовища від забруднень, витіканні гідравлічної рідини. При використанні пневмоприводу такої проблеми не виникає. Однак, при стискуванні повітря виникають труднощі, пов'язані з керуванням.

Застосування пневматичних приводів у мехатронних системах пояснюється їхньою дешевиною, простотою й відповідно надійністю. Правда, ці приводи погано керовані. Пневматичні приводи застосовують тільки в роботах невеликої вантажопідйомності – до 10 кг, рідше 20 кг. Гідравлічні приводи більш складні й дорогі в порівнянні із пневматичними й електричними. Однак при потужності 500-1000 Вт і вище вони мають найкращі массогабаритні характеристиками й тому є

основним типом привода для важких і надважких мехатронних систем. Гідравлічні приводи добре керуються, тому вони знайшли також застосування в мехатронних системах середньої вантажопідйомності, для яких потрібні високоякісні динамічні характеристики.

Розглянемо узагальнену структуру машин з комп'ютерним керуванням, орієнтованих на завдання автоматизованого машинобудування, що представлена на рис. 20.5. Ця структура автоматичних роботів, уведена академіком Е.П. Поповим, лежить у основі побудови даної схеми [41].

Зовнішнім середовищем для машин розглядуваного класу є технологічне середовище, яке складається з різноманітного основного та допоміжного обладнання, технологічного оснащення й об'єктів робіт.

При виконанні мехатронною системою заданого функціонального руху об'єкти робіт справляють збурюючий вплив на робочий орган. Приклади таких впливів: а) сили різання для операцій механообробки; б) контактні сили й моменти сил при складанні; в) сила реакції струменя рідини при операції гідравлічного різання.

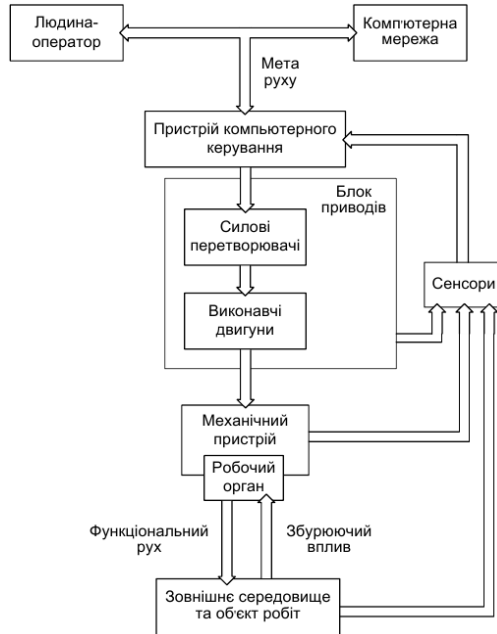


Рис. 20.5 – Узагальнена схема машин з комп'ютерним керуванням руху [40]

До складу машини з комп'ютерним керуванням рухом входять такі основні компоненти:

- 1) механічний пристрій, кінцевим ланцюгом якого є робочий орган;
- 2) блок приводів, що включає силлові перетворювачі й виконавчі двигуни;
- 3) пристрій комп'ютерного керування, верхнім рівнем для котрого є людина-оператор, або інша ЕОМ, що входить в комп'ютерну мережу;
- 4) сенсори, призначені для передачі в пристрій керування інформації про фактичний стан блоків машини й рух мехатронної системи.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин:

- 1) механічної (точніше електромеханічної);

2) електронної;

3) комп'ютерної, пов'язаних енергетичними й інформаційними потоками, є первинною ознакою, яка відрізняє мехатронні системи.

Електромеханічна частина включає механічні ланцюги та передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори й додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти).

Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланцюгів у необхідний рух робочого органа.

Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів й електроніки вимірювальних ланцюгів.

Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища та об'єктів робіт, механічного пристрою й блоку приводів з наступною первинною обробкою й передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування. До складу пристрою комп'ютерного керування мехатронної системи зазвичай входять:

а) комп'ютер верхнього рівня;

б) контролери керування рухом.

Задачою мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, що надходить із верхнього рівня керування, у цілеспрямований механічний рух з керуванням на основі принципу зворотного зв'язку. Характерно, що електрична енергія (рідше гідравлічна або пневматична) використовується в сучасних системах як проміжна енергетична форма.

Прикладом мехатронної системи є система керування приводом маніпулятора промислового робота, структурна схема якої показана на рис. 20.6.

Основними елементами системи є підсилювач постійного струму, серводвигун постійного струму, а також потенціометр, який використовується для формування сигналу зворотного зв'язку. Із рисунку 20.5 видно, що сигнал величини кута α_1 повороту маніпулятора задає мікро-ЕОМ.

Сигнал величини α_1 подається на перший вхід підсилювача постійного струму, а на другий вхід – сигнал зворотного зв'язку, сформований потенціометром за величиною реального кута повороту маніпулятора α_2 .

Різниця сигналів підсилюється та надходить в обмотку серводвигуна постійного струму, змушуючи його обертатися. Обертання серводвигуна викликає відповідне обертання маніпулятора, причому швидкість руху маніпулятора зменшується за рахунок установки редуктора між серводвигуном і поворотним механізмом маніпулятора. Поточне значення кута повороту маніпулятора перетворюється потенціометром у відповідний сигнал зворотного зв'язку, віднімається від сигналу кута задання та різниця знову надходить у підсилювач постійного струму. Таким чином, поточне значення кута α_2 поступово встановлюється на рівні кута, який задається мікро-ЕОМ. Загалом система має елементи механіки, електроніки та інформатики і тому вона є мехатронною.

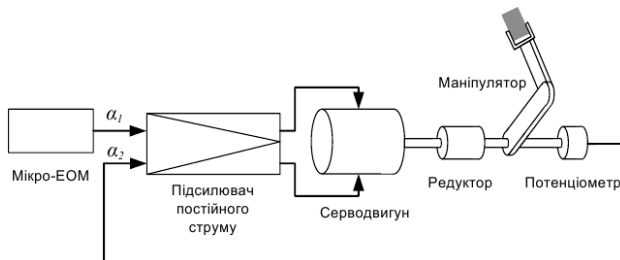


Рис. 20.6 – Структурна схема системи керування маніпулятором [40]

Сутність мехатронного підходу до проектування полягає у інтеграції в єдиний функціональний модуль двох або більше елементів можливо навіть різної фізичної природи. Іншими словами, на стадії проектування з традиційної структури

машини виключають як сепаратний (окремий) пристрій принаймні один інтерфейс при збереженні фізичної сутності перетворення, яке виконує даний модуль.

В ідеальному варіанті мехатронний модуль, одержавши на вхід інформацію про мету керування, буде виконувати з бажаними показниками якості заданий функціональний рух. Апаратне об'єднання елементів у єдині конструктивні модулі повинно обов'язково супроводжуватися розробкою інтегрованого програмного забезпечення.

Контрольні питання :

1. Дайте визначення електропривода
2. Наведіть узагальнену структурну схему та головні класифікаційні ознаки електроприводу
3. Які існують електроприводи за принципом дії електрорушійного пристрою?
4. Які існують електроприводи за властивістю змінювати свої координати, залежно від керуючої дії?
5. Що таке мехатронні системи?

21. ГІБРИДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Всі компоненти мехатронних модулів діляться на дві великі групи:

1) виконавчі елементи, до яких віднесено механічні та електротехнічні елементи (двигуни, перетворювачі руху, направляючі, гальма і т.д.);

2) інтелектуальні елементи, куди входять силові електронні блоки, інформаційні та керуючі елементи.

Гібридні технології припускають наявність двох етапів технологічної інтеграції елементів першої та другої групи елементів.

До першого належать операції виготовлення гібридних елементів, а до другого – гібридна збірка мехатронних модулів і машин з гібридних елементів. При цьому допускається, що елементи обох груп виготовляються незалежно і паралельно на різних технологічних лініях, або купуються у різних виробників (за заздалегідь узгодженим специфікаціям). Гібридна ж збірка відповідає конструкторській ідеї об'єднання (інтеграції) різноманітних гібридних елементів в єдиному корпусі. Приклад інтеграції виконавчих елементів через гібридну збірку – інтегрований сервопривод ШПШ 10 (ЗАТ «Сервотехніка») (рис. 21.1) [43].



Рис. 21.1 – Зовнішній вигляд інтегрованого

сервоприводу СПК 10 [43]

До складу СПК 10 входять такі складальні одиниці: гібридний кроковий двигун, перетворювач частоти на основі високопродуктивного DSP процесора, датчик кутового переміщення, програмований логічний контролер (PLC), промисловий інтерфейс CAN. Схема гібридної збірки ШПШ 10 з гібридних елементів показана на рис. 21.2.

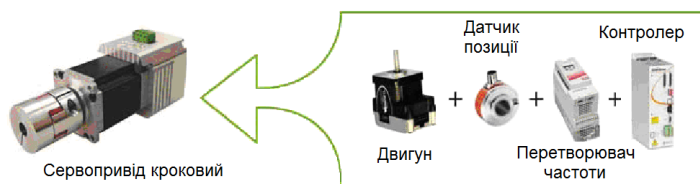


Рис. 21.2 – Схема гібридизації приводу СПК 10 [43]

Сервопривод СПК 10 призначений для максимально широкого застосування в різних областях машинобудування.

Переваги сервоприводу СПК 10:

- безкрокове (векторне) управління на основі адаптованого для крокових двигунів алгоритму;
- високі динамічні показники за рахунок використання замкнутого контуру регулювання струму;
- замкнутий контур швидкості;
- низька вібрація за рахунок динамічно регульованого зусилля;
- простота монтажу;
- невеликі масогабаритні показники.

Гібридні технології виготовлення знайшли широке застосування у виробництві мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Типовими представниками МЕМС є мобільні мікророботи. У лабораторії штучного інтелекту (США, Кембридж) створено кілька типів мобільних мікророботів з використанням гусеничного рушія (рис. 21.3).

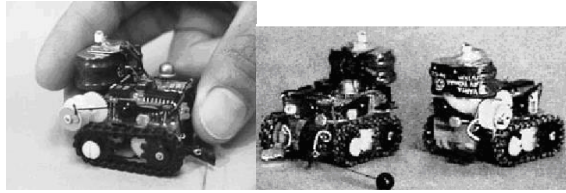


Рис. 21.3 – Автономний мобільний мікроробот Ant (MIT Arti-Ecial Intelligence Lab) [43]

Його основна перевага – повна автономність, так як використання мінідвигунів постійного струму не вимагає потужних джерел живлення: цілком достатньо застосування Ni-Cd акумулятора. До переваг також відноситься його висока маневреність: гусеничний привод дозволяє розвертатися практично на місці і реалізувати одночасно лінійний і обертальний рух.

До недоліків слід віднести складну механічну систему, наявність редуктора. Це призводить до необхідності боротися з зазорами і люфтами. Зменшити їх вплив на характер і якість руху можливо шляхом ускладнення конструкції або парировання їх програмним шляхом в системі управління. Використання гусеничного приводу тягне за собою втрату значної частки енергії на подолання сили тертя.

Основне призначення таких «іграшок» – це відпрацювання механізмів побудови самоорганізованих колоній таких механізмів (за основу самоорганізації взяті механізми поведінки мурах). Тому цей прототип і отримав назву Ant (англ. «Мураха»). При завершенні робіт з цієї тематики вчені сподіваються отримати групу мікророботів, здатних вибирати самостійно стратегію досягнення мети, вирішувати питання централізації чи, навпаки, децентралізації управління і т.д.

Розвиток МЕМС-технологій дозволив створити сенсори, в конструкції яких реалізовано об'єднання функцій вимірювання поточних параметрів механічного руху, їх перетворення і обробки за заданими алгоритмами в єдиному блоці – інтелектуальні сенсори.

22. СЕРВОПРИВОДИ

Одним з найбільш розповсюджених деталей для створення роботів є сервопривод. Сервоприводи з'явилися завдяки бурхливому розвитку радіокерованих моделей, в яких він з успіхом застосовується для переміщення елеронів літаків, рулів автомобілів та інших органів управління моделями. В іншому, завдяки повсюдному застосуванню, ціна цих сервоприводів значно знизилася, що і є одним з основних критеріїв вибору їх для використання в роботі. І так як він спочатку не призначався для використання в робототехніці, він має свої особливості застосування.

Сервопривод (сервомотор) є важливим елементом при конструюванні різних роботів і механізмів. Це точний виконавець, який має зворотний зв'язок, що дозволяє точно керувати рухами механізмів. Іншими словами, отримуючи на вході значення керуючого сигналу, сервомотор прагне підтримувати це значення на виході свого виконавчого елемента.

Під сервоприводом найчастіше розуміють механізм з електромотором, який можна попросити повернутися на заданий кут і утримувати це положення. Однак, це не зовсім повне визначення.

Якщо сказати повніше, сервопривод – це привод з управлінням через негативний зворотний зв'язок, що дозволяє точно керувати параметрами руху. Сервоприводом є будь-який тип механічного приводу, що має в складі датчик (положення, швидкості, зусилля і т.п.) і блок управління приводом, який автоматично підтримує необхідні параметри на датчику і пристрої відповідно до заданого зовнішнього значення.

Іншими словами:

1. Сервопривод отримує на вхід значення керуючого параметра. Наприклад, кут повороту;

2. Блок управління порівнює це значення зі значенням на своєму датчику;

3. На основі результату порівняння привод виробляє деяку дію, наприклад: поворот, прискорення або уповільнення так, щоб значення з внутрішнього датчика стало якомога ближче до значення зовнішнього керуючого параметра.

Найбільш поширені сервоприводи, які утримують заданий кут і сервоприводи, що підтримують задану швидкість обертання.

Всі сервоприводи для радіокерованих моделей використовують три дроти для роботи. Позитивний провід для живлення, зазвичай 4.8 В або 6 В, негативний дріт і сигнальний провід. Керуючий сигнал передає інформацію про необхідне положення вихідного вала. Вал пов'язаний з потенціометром, який визначає його положення. Контролер за опором потенціометра і значенням керуючого сигналу визначає, в який бік потрібно обертати мотор, щоб отримати потрібне положення вихідного вала. Чим вище напруга живлення сервоприводу, тим швидше він працює і більший момент розвиває.

22.1. Схема устрою сервоприводу

Сервоприводи широко використовуються для моделювання механічних рухів роботів. Сервопривод складається з датчика (швидкості, положення і т.п.), блоку управління приводом з механічною системою і електронної схеми. Редуктори (шестерні) пристрої виконують з металу, карбону або пластику. Пластикові шестерні сервомотора не витримують сильні навантаження і удари.

Сервомотор (рис. 22.1) має вбудований потенціометр, який з'єднаний з вихідним валом.

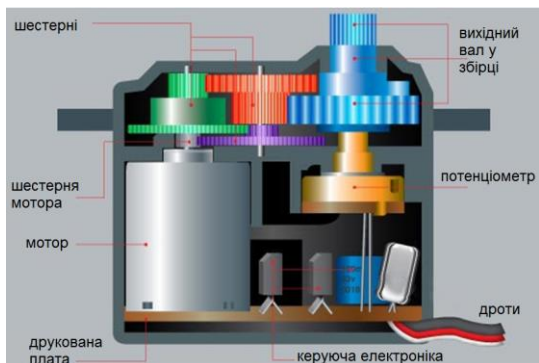


Рис. 22.1 – Сервомотор

Щоб перетворити електрику в механічний поворот, необхідний мотор. Однак найчастіше швидкість обертання мотора буває занадто великий для практичного використання. Для зниження швидкості використовується редуктор: механізм з шес-тернею, що передає і перетворює крутний момент.

Включаючи і вимикаючи електромотор, можна обертати вихідний вал – кінцеву шестерню сервоприводу, до якої можна прикріпити щось, чим хочемо керувати. Однак, для того щоб положення контролювалося пристроєм, необхідний датчик зворотного зв'язку – енкодер, який буде перетворювати кут повороту назад в електричний сигнал. Для цього часто використовується потенціометр. При повороті бігунка потенціометра відбувається зміна його опору, який пропорційний куту повороту. Таким чином, з його допомогою можна встановити поточний стан механізму.

Поворотом вала, сервопривод змінює значення напруги на потенціометрі. Плата аналізує напругу вхідного сигналу і порівнює його з напругою на потенціометрі, виходячи з отриманої різниці, мотор буде обертатися до тих пір поки не вирівняє нап-ругу на виході і на потенціометрі.

Крім мотора, редуктора і потенціометра в сервоприводі є електронна начинка, яка відповідає за прийом зовнішнього параметра, зчитування значень з потенціометра, їх порівняння і

включення / вимикання двигуна. Вона і відповідає за підтримання негативного зворотного зв'язку.

До сервоприводу тягнуться три дроти. Два з них відповідають за живлення мотора, третій приносить керуючий сигнал, який використовується для виставлення положення пристрою. Але якщо ми використовуємо багато сервоприводів або кілька, але потужних, то можливостей контроллера буде вже не вистачати. Потрібно підключати до контролера тільки керуючий вивод, а живлення на інші подавати незалежно.

Керуючий сигнал являє собою імпульси змінної ширини. Імпульси повторюються з постійною частотою, яка вимірюється в герцах. Велика частина приймачів генерує імпульси з частотою 50 Гц. Це означає, що вони передають команди про необхідне положення сервоприводу 50 раз в секунду. Положення сервоприводу визначається шириною імпульсу. Для типового сервоприводу, використовуваного в радіокерованих моделях, тривалість імпульсу в 1520 мкс означає, що сервопривод повинен зайняти середнє положення. Збільшення або зменшення довжини імпульсу змусить сервопривод повернутися за годинниковою або проти годинникової стрілки відповідно.

Гіроскопи використовують більш високу частоту імпульсів: 250 Гц і 333 Гц, що дозволяє гіроскопу частіше передавати команди сервоприводу. Гіроскопи GY601 / 611 використовують нестандартну ширину імпульсу 760 мкс. Середнє положення при цьому відповідає 760 мкс, аналогічно тому, як в звичайних сервоприводах середнього положення відповідає 1520 мкс.

22.2. Характеристики сервоприводів

22.2.1. Розмір і вага

Розміри бувають мікро, міні, стандартний і гігант (1/4). У межах кожного класу розміри можуть трохи змінюватися, але в цілому зазначені групи покривають 95% існуючих розмірів.

Середні розміри сервоприводів для довідки:

- мікро: 24 мм x 12 мм x 24 мм, вага: 8-10 г;
- міні: 30 мм x 15 мм x 35 мм, вага 25 г;
- стандарт: 40 мм x 20 мм x 37 мм, вага: 50-60 г.

22.2.2. Крутний момент і швидкість повороту

Розглянемо дві дуже важливі характеристики сервоприводу: момент і швидкість повороту.

Зазвичай сервопривод не розрахований на повний оборот, вал може повертатися на обмежений кут (частіше всього 180 градусів). Цього цілком достатньо, щоб управляти керманичами колесами або маніпулятори. Тому і застосовують сервоприводи найчастіше для шарнірів. Основним показником потужності сервоприводу є крутний момент, зазвичай виражається в кг·см. Для довгих маніпуляторів, які повинні піднімати прис-тойну вагу, вже будуть потрібні сервоприводи з обертовим моментом 30-40 кг·см і більше. Якщо ж ми хочемо за допомогою нашого сервоприводу здійснювати не дуже важку роботу, то цілком достатньо найпростіших, на 1,8 або 3,2 кг·см.

Момент сили, або крутний момент – векторна фізична величина, що дорівнює добутку радіус-вектора, проведеного від осі обертання до точки прикладання сили, на вектор цієї сили. Характеризує обертальну дію сили на тверде тіло.

Простіше кажучи, ця характеристика показує, наскільки важкий вантаж сервопривод здатний утримати в спокої на

важелі заданої довжини. Момент сервоприводу вимірюється на вагу вантажу в кг, який сервопривод може утримувати нерухомо на гойдалці з плечем 1 см (рис. 22.2). Вказують дві цифри, для нап-руги живлення 4.8 В і 6 В. Наприклад, якщо вказано, що сервопривод розвиває 10 кг/см, значить, що на гойдалці довжиною 1см сервопривод може розвинути зусилля 10 кг, перш ніж зупиниться. Для качалки в 2 см такий сервопривод зможе розвинути зусилля 5 кг, а на 5 мм цілих 20 кг.

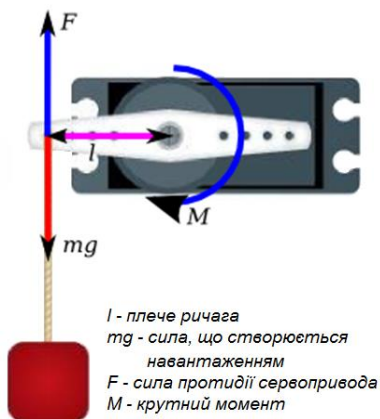


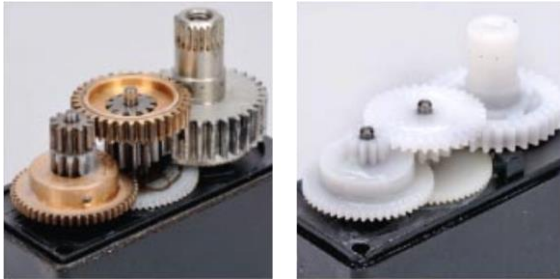
Рис. 22.2 – Характеристики сервоприводу

Швидкість сервоприводу вимірюється інтервалом часу, який потрібно важелю сервоприводу, щоб повернутися на 60° . Характеристика $0,1 \text{ с} / 60^\circ$ означає, що сервопривод повертається на 60° за $0,1 \text{ с}$. З неї нескладно вирахувати швидкість за більш звичною величиною, оборотах на хвилину, але так склалося, що при описі сервоприводів найчастіше використовують таку одиницю.

Варто відзначити, що іноді доводиться шукати компроміс між цими двома характеристиками, так як якщо ми хочемо надійний сервопривод, який витримує велику вагу, то ми повинні бути готові, що ця могутня установка буде повільно повертатися. А якщо ми хочемо дуже швидкий привод, то його

буде від-носно легко вивести з положення рівноваги. При використанні одного і того ж мотора баланс визначає конфігурація шестерні в редукторі.

Як видно з назви, сервоприводи бувають з пластиковими (рис. 22.3,б), карбонітовими і повністю, або частково металевими шестернями (рис. 22.3,а) або тільки з металевим вихідним валом. У всіх є свої плюси і мінуси, в залежності від того де ви будете їх використовувати.



а) металеві шестерні; б) пластикові шестерні
Рис. 22.3 – Шестерні сервоприводу

Пластикові шестерні відносно неміцні, часто ламаються при падінні моделі, але ремкомплекти на них недорогі, а самі шестерні практично не зношуються. Карбонітові багато в чому аналогічні пластиковим, трохи міцніше останніх і трохи більше схильні до зносу. Основний недолік – дорожнеча.

Металеві шестерні набагато міцніше, добре протистоять падінням, проте мають найдорожчий ремкомплект і сильно схильні до зносу. Згодом в металевих шестернях з'являється люфт і їх треба повністю міняти кожен сезон.

22.3. Колекторні і безколекторні мотори

Існує три типи моторів сервоприводів: звичайний мотор з сердечником, мотор без сердечника і безколекторний мотор.

Звичайний мотор з сердечником (рис. 22.4,б) має щільний залізний ротор з дротяною обмоткою і магнітами навколо нього. Ротор містить кілька секцій, тому коли мотор обертається, ротор викликає невеликі коливання мотора при проходженні секцій повз магніти, а в результаті виходить сервопривод, який вібрує і є менш точним, ніж сервопривод з мотором без сердечника.

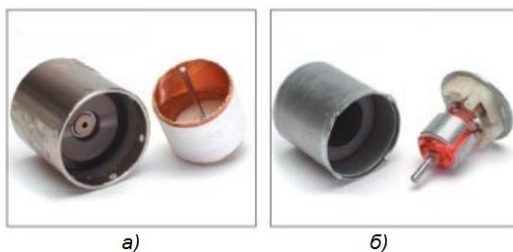


Рис. 22.4 – Колекторні мотори

Мотор з порожнистим ротором (рис. 22.4,а) володіє єдиним магнітним сердечником з обмоткою в формі циліндра або дзвони навколо магніту. Конструкція без сердечника легше по вазі і не має секцій, що призводить до більш швидкому відгуку і рівною роботі без вібрацій. Такі мотори дорожче, але вони забезпечують більш високий рівень контролю, крутного моменту і швидкості по порівнянню зі стандартними.

Сервоприводи з безколекторним мотором (рис. 22.5) з'явилися порівняно недавно. Переваги ті ж що і у інших безколекторних моторів: немає щіток, а значить вони не створюють опір обертанню і не зношуються, швидкість і момент вище при струмоспоживанні рівному колекторним моторам. Сервоприводи з безколекторним мотором – найдоржчі сервоприводи, однак при цьому вони мають кращі

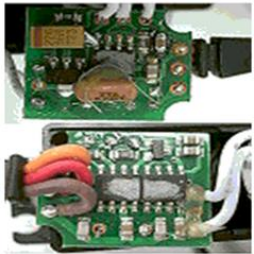
характеристики в порівнянні з сервоприводами з іншими типами моторів.



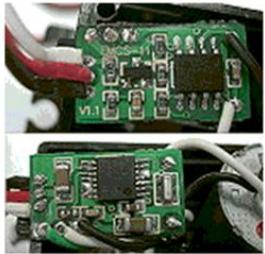
Рис. 22.5 – Безколекторний мотор

22.4. Цифровий та аналоговий сервопривод

Що б визначитися які краще, давайте розглянемо принцип роботи тих і інших, і вибір стане очевидним. Але для початку зазначимо, що цифрові і аналогові сервоприводи механічно не відрізняються один від одного (рис. 22.5). У них ті ж корпуси, мотори, шестерінки і навіть потенціометри. Вся справа в способі управління мотором.



Аналогове серво



Цифрове серво

Рис. 22.5 – Аналоговий та цифровий сервопривод

22.4.1. Робота аналогового сервоприводу

Сервоприводи керують мотором за допомогою імпульсів напруги, що подаються на мотор. Напруга при цьому постійна і дорівнює напрузі живлення приймача (4.8 – 6 В). Частота імпульсів стандартна – 50 Гц. Чим довше імпульс, тим швидше обертається мотор і більший момент розвиває. Точно так само працює більшість регуляторів моторів.

Таку поведінку можна отримати включаючи і вимикаючи побутовий вентилятор. Чим рідше включаємо тим повільніше обертається, а чим частіше і довше тримаємо включення – тим швидше. У спокої на мотор не подається напруга, а якщо лише злегка відхилити стик передавача, то на мотор піде короткий імпульс напруги. Чим більше переміщення стика тим ширше імпульс живлення для мотора, і тим швидше сервопривод рухається в потрібне положення.

Важливо, що на малих переміщеннях на мотор подаються короткі імпульси малої потужності, тобто якщо стик або зовнішня сила повільно зрушує вал з місця, спочатку на мотор подаються слабкі сигнали і чим сильніше відхиляється стик або далі зміщується вал від точки утримання, тим більш потужні імпульси живлення посилаються на мотор.

Короткі слабкі імпульси не можуть змусити мотор обертатися швидко і розвивати високий момент. В цьому і полягає проблема всіх аналогових сервоприводів: вони повільно і слабо реагують на малі команди управління або коли зовнішня сила зрушує їх з місця. Зона низької швидкості і моменту називається мертва зона (deadband).

Втім, все це не так страшно поки роботизованим пристроєм керує звичайна людина, але коли за справу береться гіроскоп, система стабілізації або топ-пілот з дуже швидкою реакцією, аналогові сервоприводи стають проблемою.

22.4.2. Робота цифрового сервоприводу

Аналогові і цифрові сервоприводи зроблені з одних деталей і навіть трижильний провід для управління той самий. Вся різниця в тому, як керуючі імпульси посилаються на мотор.

Мініатюрний мікроконтролер аналізує сигнал, що надходить з приймача і перетворює його в високочастотні імпульси управління мотором. На відміну від аналогових сервоприводів, де мотор отримує керуючі імпульси 50 раз в секунду, мотор цифрового сервоприводу отримує таких сигналів більше 300 в секунду. Само собою, імпульси будуть коротшими, але при такій їх кількості сервопривод і прискорюється швидше, і створює постійний високий момент. Ви напевно звертали увагу на «спів» цифрових сервоприводів під навантаженням – це чути короткі часті імпульси, що посилаються на мотор.

В результаті ми отримуємо сервопривод який має набагато меншу мертву зону, швидкий відгук, швидкий і плавний набір швидкості і відмінне утримання.

Але всі ці прискорення і моменти мають один маленький недолік – енергоспоживання. Так як, цифрові сервоприводи охоче споживають енергію бортового акумулятора, їх переваги треба жити. Можна справедливо зауважити, що при нинішньому розвитку акумуляторних технологій додаткове енергоспоживання не така вже проблема.

І так, цифрові сервоприводи набагато краще аналогових. І під кінець порівняння звернемо увагу ще на один момент: в специфікаціях аналогових сервоприводів часто вказані цифри швидкості і моменту вище ніж у деяких цифрових, але ви ж пам'ятаєте що аналогові приводи мають меншу швидкість і момент на коротких, і малих переміщеннях. Красиві цифри дані для максимального відхилення стику, коли сервопривод працює на повну потужність. Навіть з меншими значеннями характеристик цифрові сервоприводи все одно будуть працювати краще на малих переміщеннях, коли швидкість і момент особливо важливі.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення сервоприводу.
2. Наведіть схему устрою сервоприводу.
3. Наведіть характеристики сервоприводів.
4. Наведіть принципи роботи колекторних і безколекторних моторів.
5. Наведіть принципи роботи цифрового та аналогового сервоприводу.

23. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

Створення нового покоління технологічного обладнання поставило ряд якісно нових вимог, що пред'являються до функціональних характеристик виконавчих механізмів для цього обладнання. В першу чергу це:

- надвисокі швидкості руху робочих органів, що визначають новий рівень продуктивності технологічного устаткування;
- надвисока точність рухів, необхідна для прецизійних технологій (аж до мікро- і нанопереміщень);
- мінімізація масо-габаритних показників (аж до мініатюризації в мікросистемах);
- інтелектуальна поведінка технологічних машин, що працюють в умовах, що змінюються і невизначених зовнішніх середовищах;
- швидке і точне переміщення робочих органів по складних контурах і поверхнях;
- істотне розширення технологічних і функціональних можливостей обладнання, бажано – без збільшення вартості;
- здатність системи до реконфігурації відповідно до конкретних вирішуваних завдань;
- висока надійність і безпека функціонування.

В даний час під інтелектуальними системами управління розуміються системи, орієнтовані на обробку та використання знань. В інтелектуальній системі можна виділити такі шари обробки невизначеною інформації (шари інтелектуальності): прогноз подій; самонавчання і адаптація; робота з базами подій, знань і формування рішень; виконавчий шар. У самому нижньому виконавчому шарі можуть використовуватися класичні моделі систем автоматичного управління. Шари вищого рангу можна розглядати як надбудову над класичними моделями, відповідну сучасним інформаційним технологіям роботи зі знаннями й істотно розширює можливості цих моделей.

23.1. Інтелектуальні мехатронні виконавчі механізми

Інтелектуальний виконавчий механізм здатний здійснювати складні траєкторні руху, контролювати свій стан і адаптуватися до змін зовнішнього середовища [44].

Створення інтелектуальних ІМ нерозривно пов'язане з розвитком мехатроніки – області науки і техніки, яка займається управлінням механізмів від ЕОМ. Мехатронні (механіко електронна) система повинна розглядатися як нероздільна система механічних, електромеханічних, електричних та електронних вузлів, між якими здійснюється обмін енергією та інформацією.

Одним з основних принципів мехатронного підходу до створення виконавчих механізмів нового покоління полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних) компонентів, які набагато легше перепрограмовуються під нові завдання і в даний час відносно недорогі. До числа таких задач відносяться зміна і розширення діапазонів регулювання швидкостей, прискорень і моментів, що розвиваються виконавчим механізмом; координація управління просторовим переміщенням даного виконавчого пристрою з керуванням різними зовнішніми пристроями, наприклад, конвеєрами і завантажувальними пристроями.

Для інтелектуальних мехатронних пристроїв характерний принцип модульності. Класичними стандартними модулями, з яких може бути виконаний інтелектуальний електромашинний ІМ, є такі:

- двигун – електричний двигун, що перетворює електричну енергію в механічну. До таких модулів відносяться розглянуті вище асинхронні трифазні двигуни, виконавчі асинхронні мікродвигуни, виконавчі двигуни постійного струму, синхронні крокові двигуни;

- силовий перетворювач – джерело електричної енергії для керованого двигуна. Вхід і вихід у цих модулів електричний; до їх числа відносяться розглянуті вище керовані випрямлячі, широтно-імпульсні перетворювачі, перетворювачі частоти, електронні та магнітні підсилювачі потужності змінного струму;

- передавальний пристрій – механічний пристрій для з'єднання вала двигуна з регулюючим органом об'єкта управління. Вхід і вихід у таких модулів механічний; до їх числа відносяться муфти, кінематичні механізми типу редукторів і гальмівні пристрої;

- датчик – вимірювально-перетворювальне пристрій для перетворення механічних величин (швидкість, переміщення) в електричний сигнал. В якості вимірників швидкості і переміщення в датчиках широко застосовуються розглянуті вище тахогенератори, поворотні трансформатори, селісини.

- контролер – мікропроцесорна система, призначена для управління силовим перетворювачем з метою реалізації необхідного режиму роботи двигуна, відповідно де необхідного закону переміщення регульованого органу об'єкта управління. Вхід і вихід таких модулів електричний; обмін інформацією контролера з силовим перетворювачем, датчиком і, при необхідності, вищестоящої керуючої ЕОМ здійснюється на основі стандартних інтерфейсів.

Об'єднання модулів КОНТРОЛЛЕР + СИЛОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ + ДВИГУН + МЕХАНІЗМ + ДАТЧИК при наявності необхідного програмного забезпечення контролера і являє собою інтелектуальний Мехатронний виконавчий механізм.

Мехатронний підхід до створення сучасних високоєфективних ВМ націлений на інтеграцію механічних, електромеханічних, електронних, електротехнічних, комп'ютерних та інтерфейсних елементів в єдині мехатронні модулі, мінімізацію проміжних перетворень енергії та інформації, а також електричних і механічних інтерфейсів як

окремих блоків. Це повинно підвищити показники виконавчих механізмів за компактністю, надійністю, точністю і вартістю.

Аналіз структури і складу електромашинних виконавчих механізмів, структури переданих в них енергетичних та інформаційних потоків (рис. 23.1), (\rightarrow – інформаційні потоки, \Rightarrow – енергетичні потоки) показує, що теоретично для реалізації таких ІМ необхідні чотири основних функціональних блоку:

- інформаційно-електричний функціональний перетворювач (ФП), що стоїть в прямій ланцюга ІМ і включає в себе контролер управління рухом і силовий електричний перетворювач;

- електромеханічний ФП, що стоїть в прямій ланцюга ІМ і включає в себе електродвигун, і механічне передавальний пристрій;

- електро-інформаційний ФП, що стоїть в лінії зворотного зв'язку ІМ і включає в себе датчики напруги та струму силового перетворювача;

- механіко-інформаційний ФП, що стоїть в лінії зворотного зв'язку ІМ і включає в себе датчики переміщення, швидкості, прискорення, моменту, сили.

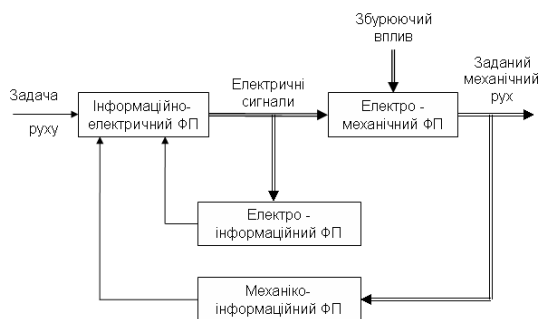


Рис. 23.1 – Аналіз структури і складу електромашинних виконавчих механізмів, структури переданих в них енергетичних та інформаційних потоків

Сучасна наука і технологія дозволяють у багатьох випадках реалізувати кожен з цих ФП, а іноді і групу ФП, у вигляді окремих мехатронних модулів. При наявності відповідного прог-рамного забезпечення такі модулі дозволяють створювати високоефективні інтелектуальні виконавчі механізми, що відпрацьовують команду про завдання руху, що надходить від пристрою, що задає з більш високого рівня системи управління, в заданий механічний рух регулюючого органу об'єкта управління.

Першими мехатронними модулями електромашинних ВМ стали модулі руху типу «мотор-редуктор», які являють собою компактне конструктивне об'єднання електродвигуна і редуктора. Зменшення габаритних розмірів ВМ, відсутність з'єднувальних муфт спрощує монтаж і налагодження ВМ, покращує його динамічні і точності властивості. Подальше конст-руктивне об'єднання цих модулів з вимірювальними пристроями датчиків швидкості і переміщення призвело до створення мехат-ронних модулів руху для інтелектуальних ВМ.

Протягом останніх десятиліть ознаменувалися значними успіхами сигової електроніки – було освоєно виробництво модулів силових перетворювачів на основі біполярних транзисторів з ізольованим затвором. Ряд таких модулів випускається з вбудованими засобами захисту силових ключів в аварійних режимах і діагностики несправностей, а також інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних блокам управління рухом приводу (контролерам руху). Інтеграція контролерів руху і силових перетворювачів у вигляді єдиного конст-руктивного модуля (друкованого вузла) привела до створення ще одного мехатронного модуля – інтелектуального силового перетворювача. У виконавчих механізмах малої потужності такий модуль може бути навіть вбудований в клемник двигуна.

Сучасна технологія виготовлення вимірювальних перетворювачів механічних величин (швидкості, прискорень, переміщень) і технологія інтегральних схем дозволяють

створювати мехатронні датчики, у яких електромеханічна вимірювальна і електронна перетворювальна частини (наприклад, аналого-цифровий перетворювач) об'єднані в одному корпусі. Вбудовування в такий датчик мікропроцесора, який бере на себе не тільки функції кодування інформації про швидкість або переміщенні, а й обробку цієї інформації за заданими алгоритмами з метою мінімізації похибок, масштабування сигналів і передачу інформації в контролер руху по стандартному протоколу, призводить до створення мехатронного модуля типу інтелектуальний датчик.

Отже, основними перевагами мехатронних виконавчих механізмів є:

- виключення цілого ряду ступенів перетворення енергії та інформації, спрощення кінематичних пристроїв і, отже, висока точність і поліпшені динамічні характеристики самих ІМ і технологічних машин в цілому;

- конструктивна компактність модулів і, отже, поліпшені масогабаритні характеристики;

- можливість об'єднання мехатронних модулів в складні мехатронної системи, що допускають швидку реконфігурацію;

- відносно низька вартість настройки і обслуговування завдяки модульності конструкції, уніфікації апаратного і програмного забезпечення;

- здатність виконувати складні рухи за рахунок застосування методів інтелектуального управління.

Слід зазначити що зростання ступеня інтеграції в мікропроцесорній техніці і перехід до мікроконтролерів з вбудованим набором спеціалізованих периферійних пристроїв роблять перспективною широку заміну аналогових систем управління виконавчими механізмами (електроприводами) на системи прямого цифрового управління. При цьому під прямим цифровим керуванням електроприводом розуміється не тільки безпосереднє управління від мікроконтролера кожним ключем силового перетворювача (керованого випрямляча або інвертора, комутатора ШД або безконтактного двигуна постійного струму),

а й забезпечення можливості прямого введення в мікроконтролер сигналів зворотного зв'язку різного типу: дискретних, аналогових або імпульсних.

Однак в кожному конкретному випадку застосування того чи іншого виду управління, застосування або незастосування мехатронних модулів, особливо з вбудованими електронними та керуючими пристроями, повинно бути технічно і економічно обґрунтованим.

23.2. Приклади інтелектуальних мехатронних виконавчих механізмів

Прикладом інтелектуального мехатронного ВМ може служити розглянута далі система векторного частотного управління трифазним асинхронним двигуном АТ.

Спочатку розроблені системи векторного керування на дискретних елементах (рис. 23.2) містили велику кількість нелінійних блоків, складних в налаштуванні і чутливих до зміни параметрів. Застосована апаратура не могла виконувати швидко і точно вимірювання положення ротора і обчислення в реальному масштабі часу вектора магнітного потоку.

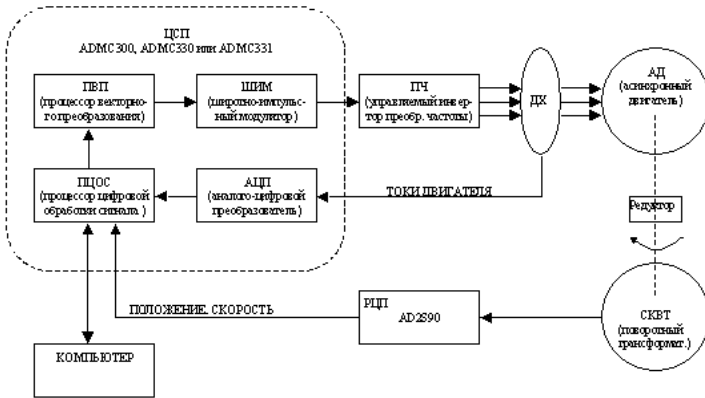


Рис.

23.2 – Системи векторного керування на дискретних елементах

В даний час наявність прецизійних оптичних кодувальників, високошвидкісних ротаційних аналого-цифрових перетворювачів (РЦП) і високошвидкісних цифрових сигнальних процесорів (ЦСП) висунула векторне управління на передній край та дозволило створити інтелектуальні мехатронні ВМ з широким діапазоном регулювання швидкості з надійними АТ.

Спрощена блок-схема такого ВМ з асинхронним двигуном АТ показана на рис. 23.3. У цій схемі функції управління і контролю виконує контролер на базі ЦСП у вигляді ІС типу ADMC300, ADMC330 або ADMC331. Входами для ЦСП є струми двигуна (зазвичай три фази), положення ротора і швидкість двигуна. Для вимірювання струмів часто використовуються датчики на основі ефекту Холла. Обертаємий трансформатор СКВТ перетворює з високою точністю кут повороту ротора двигуна в аналоговий електричний сигнал.

Перетворювач РЦП перетворює цей сигнал в цифрову форму і додатково виробляє сигнал, пропорційний кутовий швидкості ротора. При цьому відпадає необхідність в окремому датчику швидкості.

Для виконання необхідних обчислень векторного управління в реальному масштабі часу використовуються процесор цифрової обробки сигналів ПЦОС і процесор векторного перетворення ПВП сигнального процесора. Результати обчислення служать для управління інверторами.

ІС ADMC300 включає в себе 5-канальний, 16-розрядний АЦП з високою роздільною здатністю, 12-розрядний трифазний широтно-імпульсний модулятор (ШІМ) для регулювання напруги постійного струму на вході інвертора і гнучкий інтерфейс кодувальника для датчика положення зворотного зв'язку.

Іншим прикладом інтелектуального мехатронного виконавчого механізму може служити пристрій автоматичного наведення прийомної антени супутникового телебачення на

заздалегідь запрограмовані позиції при перемиканні каналів. Ці пристрої іноді називають багатооборотні актюатором.

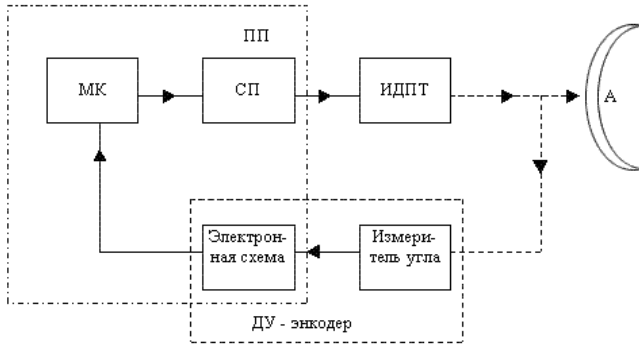


Рис. 23.3 – Спрощена блок-схема такого ВМ з асинхронним двигуном АТ

Актюатор являє собою цифровий позиціонуєчий електропривод (рис.19.3), що складається з таких функціональних вузлів:

ИДПТ – виконавчий двигун постійного струму з вбудованим редуктором;

ДУ – датчик кута типу магнітного або оптичного енкодера, що перетворює кут повороту в імпульсний код; магнітний або оптичний ротор енкодера механічно з’єднується з вихідним валом ИДПТ, а на статорі розміщуються чутливі елементи (магнітні резистори, датчики Холла, фотодіоди) і електронна схема формування імпульсного коду;

МК – мікропроцесорний контролер, який сприймає інформацію енкодера про дійсний стан антени, порівнює її із заданим за командою пульта управління телевізором і формує команду для управління двигуном;

СП – силовий перетворювач для реалізації управління двигуном;

А – антена.

Успіхи сучасних мехатронних технологій дозволили створити актюатори, в яких в єдиному конструктиві зібрані разом двигун постійного струму потужністю від 10 до 50 Вт; вбудований редуктор з передавальним відношенням 45; абсолютний багатооборотний магнітний енкодер з дозволом до 20 біт; силова плата для управління двигуном на напругу 24 В, що здійснює пуск і динамічне гальмування двигуна; а також процесор мікроконтролера з CAN-bus шиною. Електронна схема перетворення енкодера, БІС процесора і модуль СП монтується на одній друкованій платі ПП, яка розміщується в корпусі енкодера. Фланець корпусу енкодера кріпиться безпосередньо до фланця корпусу двигуна.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Муляр Ю.І. Теорія автоматичного керування технологічними системами. Навчальний посібник / Ю.І. Муляр. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 99 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія інформаційного забезпечення в технологічних системах» для студентів спеціальності 8.05020201 – Автоматизоване управління технологічними процесами / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, Н.П. Демська. – Харків : ХНУРЕ, 2015. – 100 с.
3. Микульчик Р. Щодо вживання термінів «керування» та «управління» // Вісник нац. Ун-ту «Львів.політ.», серія «Проблеми української термінології». – 2002. – № 241 – 243.
4. <http://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/automation.php>.
5. Бобух А.О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник / А.О. Бобух. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с.
6. Навчально-методичний посібник: Використання інформаційних та комп'ютерних технологій для автоматизації виробництва / Уклад: Н.М. Федорко. – Житомир: 2013. – 134 с.
7. Балюбаш В.А. Средства автоматизации и управления. Ч.1: Учеб.-метод. пособие / В.А. Балюбаш, В.А. Добряков, В.В. Назарова. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 72 с.
8. Мордасов М.М. Технические средства автоматизации. Ч. 1. Пневматическая ветвь: Учеб. пособие / М.М. Мордасов, Д.М. Мордасов, А.В. Трофимов, А.А. Чуриков. – Тамбов: Издво Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 168 с.
9. Черевко О.І. Автоматизація виробничих процесів: підручник / О.І. Черевко, Л.В. Кіптєла, В.М. Михайлов, О.Є. Загорюлько. – Харків : ХДУХТ, 2014. – 186 с.

10. Троц А.А. Основи метрології, взаємозамінності та стандартизації. Методичні вказівки до курсу лекцій для студентів спеціальності «Електронна побутова апаратура» / Уклад. А.А. Троц, С.П. Полішко. – К.: Ун-т «Україна», 2008. – 34 с.
11. Шарапов В.М. Универсальные технологии управления: / В.М. Шарапов, Е.В. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. — 632 с.
12. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: Учеб. пособие / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. — 367 с.
13. White, R.W. A sensor classification sceme. In.: Microsensors. IEEE Press, New York, 1991.
14. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П.В. Новицкого. — Изд. 5-е перераб. и доп. — Л.: Энергия, 1975. — 576 с.
15. Шарапов В.М. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук. – Москва: Техносфера, 2012. – 624 с.
16. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи: ученик / Е.С. Полищук. – Киев: Вища школа, 1981. — 296 с.
17. Механотроніка [Текст]: Конспект лекцій для студентів напряму 6.050502 – «Інженерна механіка» денної та заочної форм навчання / уклад. Н. М. Гулієва. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – 104 с.
18. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 368 с.
19. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. / Г. Виглеб. — М.: Мир, 1989. — 196 с.
20. Пашков Є.В. Промислові механотронні системи на основі пневмоприводу: Навч. посібник / Є.В. Пашков, Ю.О. Осинський. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2007. — 388 с, іл.

21. Волков Ю. Программируемые контролеры «Фесто» / Ю. Волков. — К.: Изд-во ДП «Фесто», 2003. — 92 с.
22. <https://teko-com.ru/katalog/induktivnye-datchiki/induktivnye-preobrazovate-li-peremeshhenija/>
23. <http://www.elec.ru/articles/datchiki-priblizheniya-autonics-induktiv-nye-i-emko/>
24. Пазюк А. Теперь – и холловские: новые датчики магнитного поля от TEXAS INSTRUMENTS / НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ № 10, 2015. – с. 26 – 30.
25. Волович Г. Интегральные датчики Холла / СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА . – 2004. с. 26 – 31.
26. Гироскоп. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://uk.wikipedia.org/wiki/>
27. Невлюдов І.Ш. Мікросистемна техніка та нанотехнології: монографія / І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін. – К: НАУ, 2017. – 528 с.
28. Акселерометр. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://uk.wikipedia.org/wiki/>.
29. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 134.
30. Ямпольский Л.С. Промышленная робототехника / Л.С. Ямпольский, В.А. Яхимович, Е.Г. Вайсман и др. – К.: Техніка, 1984. – 264 с.
31. Спиноу Г.О. Робототехніка: монографія / Г.О. Спиноу, В.Є. Юмашев. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 332 с.
32. Костюк В.И. Промышленные роботы / В.И. Костюк, О.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский. – К.: Виша шк. Головное изд-во, 1985 г. — 359 с.
33. Шишов О.В. Интеллектуальные датчики в системах промышленной автоматизации. Электроника и информационные технологии. – 2011. Вып. 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2011-2>.

34. Наладка приборов и устройств технологического контроля / Под ред. А.С.Клюева. – М.: Энергия, 1976. – 4126 с.
35. Степанковський Ю.В. Перетворюючі пристрої приладів. Ч2. Інформаційні електричні мікромашини. Навчальний посібник [Електронне видання]. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 53 с.
36. Жужжалов В.Е. Технические средства автоматизации: Учебно-методический комплекс дисциплины / В.Е. Жужжалов, В.В. Солдатов, В.В. Маклаков, М.В. Жиров. – М.: МГУТУ, 2004. – 65с.
37. Мощные электромагнитные реле. Справочник инженера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
38. Андрей Повный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.electrolibrary.info.
39. Контактторы электромагнитные низковольтные. Общие технические условия. ГОСТ 11206-77 (2002) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ba6000.ru/UserFiles/File/gost11206772002.rar>
40. Ловейкін В.С. Мехатроніка: навчальний посібник / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Ю.В. Човнюк. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2012. – 358с.
41. Попов Е.П. Основы робототехники / Е.П. Попов, Г.В. Письменный. – М.: Высшая школа, 1990. – 224 с.
42. Попович М.Г. Теорія електропривода. Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та інш.: За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.
43. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 134 [2] с.
44. Макаров И.М. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О.,
Филипенко О.І., Демська Н.П., Новоселов С.П.

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*Рекомендовано Вченою радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 6 від 26 квітня 2019 року)*

Коректор В.Г. Андріященко

Комп'ютерна верстка Н.К. Ляшова

Підписано до друку 11.06.2019 р. Формат 60×84 1/16.
Папір офсет. Гарнітура Таймс 23,0 Умов. Друк. Арк..
16,8 Умов. вид. арк. Тираж 300 прим. Зам. № 25.

Видано на замовлення ХНУРЕ